



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa**

Màster en Sistemes Automàtics i Electrònica Industrial

Treball Final De Màster

ESTUDI DE TRES SIMULACIONS D'UNA ESTACIÓ DE TAXIS

Marc Rodríguez García

Tutor: Jaume Figueres

Curso acadèmic 2018/19

Agraïments

Primer de tot voldria agrair de cor al meu tutor del projecte Jaume Figueres ja que no només me ha ajudat ràpidament en tota mena de dubtes sorgits en el treballa, sinó que me ha animat a anar sempre més enllà a l'hora de ser ambiciós en quan als apartats del projecte.

Voldria agrair als meus pares i a la meva germana gran per aguantar el meu mal humor en els moments difícils i de desesperació que han anat apareixent a lo llarg de tot el projecte.

Finalment, agraeixo l'ajuda prestada pels meus amics Marc i David. A en Marc per deixar-me el seu portàtil per poder gravar la simulació amb Unity amb una major qualitat gràfica, i a en David per prestar-me el seu ordinador per poder finalitzar la programació amb Unity, sense el qual no hauria estat capaç.



Índex

1.	Iniciació del projecte	1
1.1.	Descripció del projecte	1
1.2.	Justificació del treball	1
1.3.	Ànim i objectius del projecte	1
1.3.1.	Ànim	2
1.3.2.	Objectius	2
1.4.	Suposicions i restriccions	2
1.5.	Nomenclatura i acrònims	3
2.	Estat de l'art	3
2.1.	Estat de l'art en el món dels taxis	3
2.1.1.	Regulació	5
2.1.2.	Uber i Cabify	7
2.2.	Gestió de taxis a terminals del món	8
2.2.1.	Aeroport del Prat	8
2.2.2.	Aeroport de Màlaga	10
2.2.3.	Estació de Sants	12
2.2.4.	Aeroport de Barajas	14
2.2.5.	Aeroport JFK	17
2.2.6.	Punts en comú i idea general	19
2.3.	Estat de l'art dels simuladors	20
3.	Presentació dades a simular i eines	22
3.1.	Eines	22
3.1.1.	FlexSim	22
3.1.2.	Arena	23
3.1.3.	AutoCAD	23
3.1.4.	SketchUp	24
3.1.5.	Microsoft Project	24



3.1.6. Unity	24
3.2. Dades	25
3.2.1. Marc preliminar	25
4. Presentació del problema.....	26
4.1. Teoria de la xarxa de Petri	26
4.2. Model del sistema	30
4.2.1. Exposició del problema	30
4.2.2. Xarxa de Petri de persones	31
4.2.3. Xarxa de Petri de taxis.....	33
5. Gestió del temps	34
5.1. Activitats programades	34
5.2. Diagrama de Gantt	36
5.3. Diagrama de flux	37
6. Plànols, esbossos i representacions 3D	38
6.1. Plànols CAD	38
6.1.1. Planta baixa	39
6.1.2. Primera planta.....	40
6.2. Representació 3D	41
7. Simulació amb Arena	47
7.1. Esquema de simulació amb Arena.....	49
7.2. Resultats simulació amb Arena.....	51
7.2.1. Cues	51
7.2.2. Número de cicles	52
7.2.3. Temps de simulació	53
8. Simulació amb FlexSim	54
8.1. Esquema de simulació amb FlexSim	57
8.2. Experiència amb FlexSim	57
8.2.1. Passatgers	58
8.2.2. Taxis	59




8.3.	Resultats simulació amb Flexsim	60
8.3.1.	Cues	60
8.3.2.	Número de cicles	62
8.3.3.	Temps de simulació	63
8.3.4.	Captura de la simulació amb Flexsim.....	63
8.3.5.	Vídeo 3D amb la simulació de Flexsim.....	64
9.	Simulació amb Unity.....	65
9.1.	Elements de Unity.....	66
9.2.	Lògica de simulació	69
9.2.1.	Inici	70
9.2.2.	Descarrega	72
9.2.3.	Càrrega.....	72
9.2.4.	Encotxar.....	73
9.3.	Experiència amb Unity	74
9.4.	Resultats de simulació amb Unity	80
9.4.1.	Funcionament del model	80
9.4.2.	Captura 360	85
10.	Anàlisi i comparativa final.....	86
10.1.	Anàlisi tècnic dels simuladors	86
10.2.	Discussió i optimització de resultats	89
11.	Conclusions	92
12.	Bibliografia.....	94
12.1.	Llibres.....	94
12.2.	Pàgines web.....	95
12.3.	Articles	96
13.	Annexos	97
	Annex 1: Dades extrems de l'Arena	97
	Annex 2: Dades extrems de Flexsim	98
	Annex 3: Scripts Unity	98



Índex de taules

Taula 1-1. Llistat de paraules i acrònims dedicats.....	3
Taula 3-1. Pics de passatgers en intervals de temps	25
Taula 3-2. Percentatge d'arribades per grup.	26
Taula 4-1. Transicions de la xarxa de petri de persones.....	31
Taula 4-2. Accions Petri persones.	32
Taula 4-3. Transicions de la xarxa de petri de taxis.	33
Taula 4-4. Accions de la xarxa de petri de taxis.....	33
Taula 4-5. Recursos de la xarxa de petri de taxis.	34
Taula 5-1. Llista d'activitats programades pel projecte.	35
Taula 9-1. Descripció objectes controladors de la simulació.	70
Taula 9-2. Noves distribucions triangulars.....	77
Taula 10-1. Comparativa simuladors.	86

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

1. Iniciació del projecte

1.1. Descripció del projecte

Actualment, el mitjà de transport més utilitzat després d'haver realitzat un llarg desplaçament en sistemes com l'avió, el tren, o el vaixell, és el taxi. Ja sigui per comoditat, per l'agilitat a l'hora de realitzar desplaçaments de mitja distància per ciutat o la facilitat d'escollir aquest servei en emplaçaments com poden ser aeroports, ports i estacions de tren.

L'objectiu d'aquest projecte és el de realitzar una simulació en 3D d'un sistema de gestió de taxis a una terminal genèrica on hi hagin grans pics de demanda del servei de taxis, com pot ser el aeroport de Barajas (Madrid), o la estació de Sants (Barcelona).


El simuladors escollits per realitzar l'estudi són: un simulador 3D americà anomenat FlexSim, un simulador purament de dades anomenat Arena de la casa Rockwell Automation, i un motor gràfic per realitzar videojocs anomenat Unity.

Aquest projecte es realitzarà amb dades obtingudes d'un projecte real, en el qual s'estudia com millorar la gestió del sistema de taxis d'una terminal concreta. En aquest projecte se simularà el major rang de possibilitats en referència a la quantitat de gent que viatja en un grup, i al número de maletes que aquets individus carreguen. Només es tindrà en compte la gestió dels taxis i civils dins de la terminal, un cop fora deixaran de ser objecte d'estudi.

1.2. Justificació del treball

Un cop realitzat un estudi per millorar un sistema de taxis en una gran terminal, per poder portar a terme la remodelació proposta al projecte ha d'haver una gran inversió darrere. En un projecte d'aquesta magnitud pot no ser suficient un estudi amb números a favor per a que rebi llum verda, però amb un suport visual com pot ser una simulació de com seria el sistema pot ser suficient per acabar de convèncer als inversors. Per tant, amb aquest projecte es pretén realitzar una simulació en 3D del sistema de taxis d'una terminal genèrica per tal de proporcionar una nova eina per aquets tipus de projectes.

1.3. Ànim i objectius del projecte

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

1.3.1. Ànim

L'ànim del projecte és:

“La simulació en 3D de la gestió d'un sistema de taxis localitzar en una gran terminal genèrica amb elevats pics de demanada del servei.”

1.3.2. Objectius


Els objectius principals per poder realitzar el projecte són:

- Realitzar una simulació amb tres programes diferents a partir de les dades obtingudes d'un projecte real.
- Crear una simulació en 3D que s'apropi el màxim possible a el model real.
- Validar els resultats amb les dades de l'estudi previ.
- Realitzar unes simulacions lo suficientment genèriques com per a que siguin extrapolable i repetibles a altres projectes.
- Obtenir resultats lo més semblants possibles entre simuladors.
- Aprendre a utilitzar les eines de simulació FlexSim, Arena i Unity a nivell professional.

1.4. Suposicions i restriccions

Abans de començar el projecte es realitzarà una sèrie de suposicions i restriccions per tal de que es tingui constància de quina base parteix l'inici del mateix. A continuació es mostrarà un llistat de les suposicions i restriccions que s'establiran:

- Les dades collides a partir de les quals es realitzarà el treball de simulació seran dades d'un sistema real i amb validesa.
- La simulació només tindrà en compte la gestió del sistema de taxis, no tindrà en consideració com arriba la gent a la zona.
- La simulació sempre es donarà sota unes circumstàncies òptimes tant ambientals, com considerant problemes externs al nostre sistema com pot ser un accident de tràfic proper a la zona.
- Es donarà per suposat les condicions dins del recinte seran òptimes en relació a el comportament dels vianants i altres possibles problemes interns. Es a dir, els vianants realitzaran un desplaçament des de l'entrada fins on hagin d'arribar sense perdre's, amb velocitat fixe... per exemple.
- Es considerarà que mai hi haurà manca de arribada de taxis a la terminal.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

1.5. Nomenclatura i acrònims

Tot treball especialitzat en alguna manera tendeix a disposar de vocabulari especialitzat, el qual normalment sol ser vocabulari que no disposa de traducció o és més comú l'ús en la seva versió original. A continuació es mostrarà i definirà una llista de paraules i acrònims utilitzats en aquest projecte:


Taula 1-1. Llistat de paraules i acrònims dedicats.

Paraula/acrònim	Definició
Batch	Paraula anglesa utilitzada per a referir-se a una acumulació a la espera de realitzar una funció o acció. Utilitzada en el treball per referir-se a la zona on s'acumulen i s'esperen els taxis
Tutorial	Guia creada per poder seguir o aprendre a realitzar una acció o procediment.
Layout	Terme utilitzat per fer referència a plànols esquemàtics.
Spawn	Paraula anglesa utilitzada per fer referència a néixer o crear un objecte e un punt determinat de l'espai.
App	Acrònim de la paraula anglesa application referida per aplicacions mòbil.
False	Fals en anglès
True	Veritat en anglès
Bool	Diminutiu de booleà
Int	Diminutiu de la paraula anglesa integer. Utilitzada per definir números enters en C#
Float	Paraula anglesa utilitzada en programació C# per números enters i decimals.
String	Paraula anglesa que en C# referència les cadenes de caràcters.
Script	És el full de codi que es crea per poder programar objectes.
Frame	Cadascuna de les imatges instantànies en les quals es divideix una pel·lícula.

2. Estat de l'art

2.1. Estat de l'art en el món dels taxis

Els taxis són observats com una manera de transport flexible, ràpid i convenient, encara que en general són costosos per als viatges diaris. Durant molt temps han estat part de la combinació de transport de gairebé totes les ciutats mitjanes i grans de tot el món, brindant un servei directe diari de punt a punt a comanda, complementant altres maneres de transport per satisfer les necessitats del mercat. Els taxis també són un sistema

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019


d'alimentació clau per als sistemes d'autobusos i trens, que resolen el problema de la "última milla".

Actualment a molts països del món esta regulat a través d'instruments com a restriccions d'entrada, limitacions numèriques, sistemes de permisos, sistemes de medallons, preus mitjana i contractes exclusius. Aquest pesat entorn regulat ha estat desafiat de moltes maneres, ja sigui a principis de la dècada de 1980 als Estats Units o una mica més tard a Europa, concretament a Anglaterra i més recentment a Japó, 2006. Els arguments a favor de la liberalització no són tan diferents dels presents en les discussions d'altres maneres de transport, com l'eficiència econòmica, els preus més baixos a través de la competència oberta i la innovació tecnològica i de serveis. Els partidaris de la regulació afirmen, no obstant això, riscos de falla de mercat significatius, associats amb la asimetria de la informació, els subsidis creuats, les externalitats, l'excessiva penetració al mercat per part de petits operadors independents i economies d'abast i escala dins de certs contextos de mercat que poden conduir a condicions no competitives.

Aquest servei de transport adquireix especial rellevància quan s'acobla a nodes d'alta demanda existents com a hospitals, monuments, certes àrees comercials, hotels, centres de convencions, estacions de tren o aeroports. El seu "perfil de servei" és altament compatible amb la disposició tradicionalment major a pagar als passatgers amb urgència de viatge, alt confort i necessitats de seguretat o poder econòmic, com a pacients i visitants d'hospitals, compradors, empresaris o turistes. Enquestes realitzades a l'any 2007 mostren que aproximadament el 50% dels clients de mobilitat urbana prefereixen el taxi per viatjar a l'aeroport, la qual cosa ho converteix en un servei d'alimentació d'aeroport gairebé especialitzat. Els aeroports, i les estacions de tren, fins a cert punt, són un cas especial, en el sentit que els passatgers que es desplacin solen ser persones i famílies d'ingressos mitjàs-alts (que solen portar equipatge) que viatgen principalment per negocis o per plaure.

Aquests no solen estar familiaritzats amb el sistema de transport de la ciutat de destinació o busquen un viatge més ràpid i directe al seu hotel a causa de la fatiga del viatge i a l'equipatge, generalment privilegiant als taxis com la seva principal opció de transport.

L'aeroport de la ciutat de Londres, per exemple, tenia al voltant del 64% dels seus passatgers enquestats que viatjaven per motius relacionats amb els negocis en i aproximadament el 78% dels passatgers poden ser considerats com a individus de classe mitjana-alta. Segons el Sistema de Classificació Socioeconòmica del Regne Unit. En 2007, l'Aeroport de Brussel·les també va registrar el 34% de les respostes pel mateix motiu i el 44% van ser turistes o treballadors d'oficina (32%), seguits de càrrecs administratius (22%) van ser les principals professions entre els passatgers enquestats. En l'aeroport de Lisboa, en l'any 2000, una enquesta va concloure que aproximadament el

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019


42% dels passatgers eren turistes i el 28% viatjava per motius comercials, mentre que una altra font, en 2006. Els percentatges d'usuaris de taxis en les terminals de l'aeroport són 44% per al cas de Londres, 20% per a Brussel·les i 38% per a Lisboa.

La competència és també una de les principals preocupacions del sector del taxi. Tradicionalment, els autobusos, trens i automòbils privats eren els competidors de taxi més importants per als serveis de mobilitat urbana, però certs segments del mercat, com els homes de negocis o els turistes, seguien sent clients lleials dels taxis. En els últims anys, han sorgit molts tipus de serveis alternatius per a la mobilitat urbana, similars als taxis en el sentit que són flexibles i no segueixen rutes o horaris fixos: aquesta classe de servei es diu “Paratransit”. Potser el servei de “Paratransit” més rellevant i conegut sigui el taxi compartit, molt popular en alguns països, però existeixen uns altres, fins i tot en aeroports.

Aquests tipus de serveis alternatius poden ser adaptables als serveis de taxi, integrant els models de negocis dels operadors de taxi; Complementari, durant les hores puntes en la seva majoria; o assumir una posició competitiva forta, especialment en els aeroports. En qualsevol cas, l'anàlisi d'aquests esquemes alternatius d'oferir serveis de mobilitat flexible pot llançar llum sobre el concepte de serveis de taxi en si mateixos. Moltes opcions alternatives de mobilitat sovint s'incorporen en les estructures de la companyia de grans i coneguts operadors de transport, com les companyies d'autobusos, per exemple. El mateix pot dir-se sobre els operadors de taxis, que poden aprendre d'experiències reeixides per adaptar-se a condicions específiques o en evolució. Sens dubte, val la pena esmentar la possible implementació d'aquests esquemes centrats en taxis compartits i camionetes d'accés telefònic dins del sistema de servei de taxis d'aquest estudi, especialment en terminals d'aeroports, on la diversitat de necessitats és constant.

2.1.1. Regulació

La regulació dels taxis, inclosos els acords contractuals de taxis en els aeroports, ha estat un tema candent en molts països desenvolupats durant la major part de l'última meitat del segle XX. Igual que amb molts altres maneres de transport, l'entorn regulador influeix de manera decisiva en els nivells de rendiment operatiu, el nivell de servei i els graus de llibertat d'explotació del mercat. Aquest aspecte és fonamental en l'anàlisi de qualsevol sistema de servei de taxi de l'aeroport, ja que les interaccions entre els diversos actors interdependents són complexes i, de vegades, competeixen. A més, els aspectes generals de la regulació del taxi dins de les ciutats i regions de vegades poden ser inadequats pel propi entorn operacional de l'aeroport, a causa de l'especificitat del mercat objectiu: els passatgers de l'aeroport.


 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

Igual que moltes discussions sobre la regulació i la desregulació d'altres maneres de transport i sectors d'activitat econòmica, el mercat de taxis motiva fortes disputes sobre eficiència econòmica i social, equitat i maximització del benestar. D'una banda, els fonaments de la teoria econòmica, que recolzen els beneficis del mercat lliure, com a preus més baixos, innovació i major nivell de servei, derivats d'una major competència, recolzats per experiències relativament bones en altres sectors i altres maneres de transport. D'altra banda, les imperfeccions en la pràctica que moltes vegades condueixen a falles del mercat, cridat a la regulació.

Els partidaris de la liberalització basen el seu raonament en l'afirmació que les restriccions a l'entrada en la indústria del taxi constitueixen una restricció injustificada de la competència, mentre que també permeten la captura reguladora. Això significa que podrien ocórrer grans transferències de consumidors a productors, juntament amb distorsions econòmiques associades i les corresponents pèrdues de pes mort. A més, aquesta perspectiva defensa que no existeix una prova sòlida sobre l'afirmació que l'equitat es promou millor a través de la implementació de restriccions d'entrada; Per contra, preus més alts i menor disponibilitat afecten el servei de taxis de menors ingressos.

L'argument de la disponibilitat també és molt fort per part dels partidaris de la desregulació. Alguns autors arriben al punt d'afirmar que “els estudis han trobat que els viatgers són més sensibles a la disponibilitat de taxis que als temps de viatge, les velocitats o gairebé qualsevol altra funció del servei. On els taxis tenen llibertat il·limitada per exercir el seu comerç, la qualitat del transport urbà en general ha millorat . Els límits numèrics dels taxis són el centre d'aquest argument per al risc de baixa disponibilitat, que també es centra en els preus excessivament alts dels medallons i permisos, que han sorgit com un mercat secundari rendible a causa de l'escassetat de noves iniciatives d'emissió de permisos. També existeix la ferma convicció que no existeix una justificació econòmica per a les restriccions imposades a tipus de serveis alternatius, com l'ús compartit i l'accés telefònic, la qual cosa els impedeix competir per parts del mercat de trànsit en gran part monopolitzades per altres operadors de transport.

Els arranjaments de taxis en l'aeroport específicament també estan subjectes a moltes de les consideracions esmentades anteriorment. Els tipus contractuals presents en les concessions de parades de taxis en els aeroports són un tema rellevant, ja que diferents acords poden tenir diferents impactes en l'accés i l'eficiència del servei. La categorització generalment es defineix en tres tipus: *Contracte Exclusiu*, on a una sola companyia de taxis se li atorga el privilegi de sol·licitar als passatgers que surten de l'aeroport; *Sistema de Permisos*, quan una agència governamental emet un nombre limitat de permisos a operadors de taxis seleccionats per brindar servei i *Sistema Obert*, en el qual qualsevol

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

taxi amb llicència a l'àrea metropolitana pot sol·licitar passatgers en l'aeroport. Sembla que no hi ha un acord òptim per a totes les situacions, perquè hi ha concessions significatives entre els criteris que les autoritats aeroportuàries o entitats governamentals consideren rellevants, com a possibles concessionaris. Les condicions polítiques i econòmiques no són geogràficament homogènies i amb freqüència determinen els pesos de cadascun d'aquests criteris.

2.1.2. Uber i Cabify


Com s'ha comentat en l'anterior punt (2.1. Estat de l'art), cada cop esta incrementat més i més els mètodes alternatius a l'ús del taxi per recórrer la esmentada "última milla". Actualment, Uber i Cabify s'han tornat els dos majors competidors per la plataforma de taxis, i que a més, són dos sistemes per viatjar disponible en gran part de les terminals del món, per tant dos sistemes a tenir en compte fortament en l'actualitat.

Uber i Cabify són dues aplicacions que ofereixen un servei de transport a partir de la localització de l'usuari per GPS. La plataforma registra la localització d'un passatger a través del GPS del mòbil i li envia el cotxe més proper. L'usuari pot triar el vehicle en el qual vol viatjar des de la "app" i també realitzar el pagament. El preu d'aquests serveis sol ser més barat que el d'un taxi convencional i es regeixen per un sistema de llicències diferent.

La principal diferència entre Uber i Cabify radica en la forma de cobrament de cadascuna d'elles. Uber tenen una tarifa per quilòmetre i minut. Cobren 1,20 euros per cada quilòmetre recorregut i 0,10 euros addicionals per cada minut en marxa. El preu mínim del servei és de cinc euros.

Cabify, en canvi, només cobra una quantitat per quilòmetre recorregut: 1,65 euros pels 20 primers quilòmetres i 1,10 per a la resta. No contempla el temps pel que si hi ha embús o cal prendre una ruta més llarga no influeix en el preu final. El import mínim és de sis euros. En el cas dels taxis convencionals la tarifa arrenca en una quantitat fixa de 2.40 euros per al inici del servei al que cal sumar la tarifa per quilòmetre i per temps transcorregut. A les nits, a més, s'activa la tarifa nocturna.

En una comparativa realitzada per la web Xakata amb trajectes a Madrid, on operen els tres serveis, s'aprecien diferències considerables en les tarifes per desplaçar-se des de Cibeles a l'Aeroport Madrid-Barajas Adolfo Suárez. Uber realitzaria el recorregut per 20 euros, Cabify per 25,8 euros i un taxi convencional per 30 euros.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

Les diferències entre tots dos col·lectius (taxis i les aplicacions Uber amb Cabify) radica en el sistema de llicències. Uber i Cabify treballen amb llicències VTC, pensades per a conductors professionals que condueixen vehicles amb llicència de transport de passatgers. No són llicències de taxi, sinó de lloguer de vehicles amb conductor. Segons la llei, des de juliol de 2013 s'estableix que deu haver-hi 30 llicència de taxi per cada de VTC. Una relació que els taxistes consideren desproporcionada i injusta. Les llicències de Uber i Cabify, a més, no els permeten captar clients pel carrer o sortir del cotxe a buscar-los, només poden transportar. Alguna cosa que el gremi del taxi posa en dubte que s'estigui complint.

2.2. Gestió de taxis a terminals del món

A qualsevol punt del món on hi hagi un aeroport, un port amb creuers o una gran estació de trens, hi ha lligat una estació de taxis. No obstant, no existeix cap llei o norma que regeixi com han de ser i funcionar cada una de les terminals de taxis, per tant cada companyia que gestiona el servei ho fa a la seva manera. En aquest punt tractarà en estudiar com funcionen algunes de les grans terminals del món, pel que fa a la gestió de taxis; l'aeroport del Prat (Barcelona), l'estació de Sants (Barcelona), l'aeroport de Barajas (Madrid), l'aeroport JFK (EEUU) i l'aeroport Costa del Sol (Màlaga), han sigut els terminals escollits a estudiar. S'investigaran i es posaran en comú els següents punts: "Batch" de taxis, i organització y gestió de collida de passatgers.

2.2.1. Aeroport del Prat

La ubicació de l'aeroport es troba 15 quilòmetres al sud-oest del centre de Barcelona i a 3 quilòmetres del Port de Barcelona,4 entre els termes municipals del Prat de Llobregat, Viladecans i Sant Boi de Llobregat

L'aeroport té tres pistes d'enlairament i aterratge. Dos en paral·lel i una creuada denominada. Disposa de dues terminals: T1 (inaugurada el 16 de juny de 2009) i la T2, que és la suma de les anteriors A, B i C. Les dues terminals sumen un total de 268 mostradors de facturació i 64 passarel·les d'embarcament. Les dos terminals, tot hi estar juntes, estan suficientment separades com per disposar de un sistema de taxis independent cadascuna, tot hi ser gestionats per la mateixa companyia (AENA) i disposar un funcionament similar.

Amb les dades dels últims anys, més de 43 milions de passatgers han volat en el passat 2016 i amb un augment d'uns 3 milions de passatgers/any.



Batch

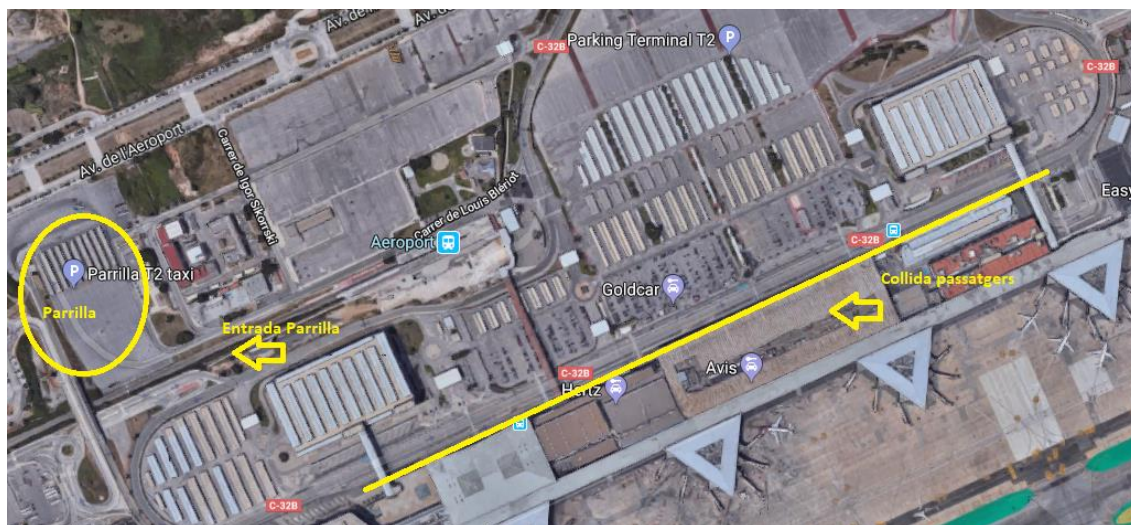
El “Batch” de taxis del Prat, o també anomenat “la parrilla”, és un establiment reservat per taxistes on aquests esperen el seu torn per poder accedir a la terminal i collir passatgers. Aquest espai per a taxistes està equipat amb lavabos i màquines expenedores amb aliment i begudes, per a que els taxistes puguin descansar i reposar, ja que poden arribar a tenir entre una i tres hores d’espera per accedir a la terminal.




Il·lustració 2-1. Batch taxis terminal T2 (Barcelona)

Organització i gestió

El sistema de gestió de taxis a l’aeroport de Barcelona funciona de la següent manera. Primerament, els taxis que arriben a la terminal han de passar a la zona del “Batch” de taxis per el carrer de Louis Blériot. Un cop a “la parrilla”, on s’ha explicat anteriorment, esperen al seu torn per poder entrar a la zona de collida de passatgers.



Il·lustració 2-2. Vista satèl·lit el Prat.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

A la zona destinada a la collida de passatgers, els taxis tenen habilitat un carrer de 4 carrils, 2 on parar i encotxar passatgers i 2 més per poder circular. En els 2 carrils destinats a recollir gent hi ha les places d'aparcament marcades per poder delimitar l'espai entre taxis.



Il·lustració 2-3. Gestió taxis a la terminal.


2.2.2. Aeroport de Màlaga

L'aeroport de Màlaga és un aeroport important per al turisme espanyol, ja que és el principal aeroport internacional que serveix a la Costa del Sol. Està a 8 km al sud-oest de Màlaga i 5 km al nord de Torremolinos. L'aeroport té connexions aèries a més de 60 països a tot el món.

En 2017 va aconseguir els 18.628.876 passatgers (16.120.479 en vols internacionals) i 137.092 operacions d'enlairament i aterratge.

L'aeroport de Màlaga compta amb dues pistes d'aterratges, la qual cosa permet que se li pugui assignar a cadascuna solament una funció (o pista solament per a enlairaments, o pista solament per a aterratges). L'aeroport té 3 terminals de passatgers, però tots els vols surten de la Terminal 3.

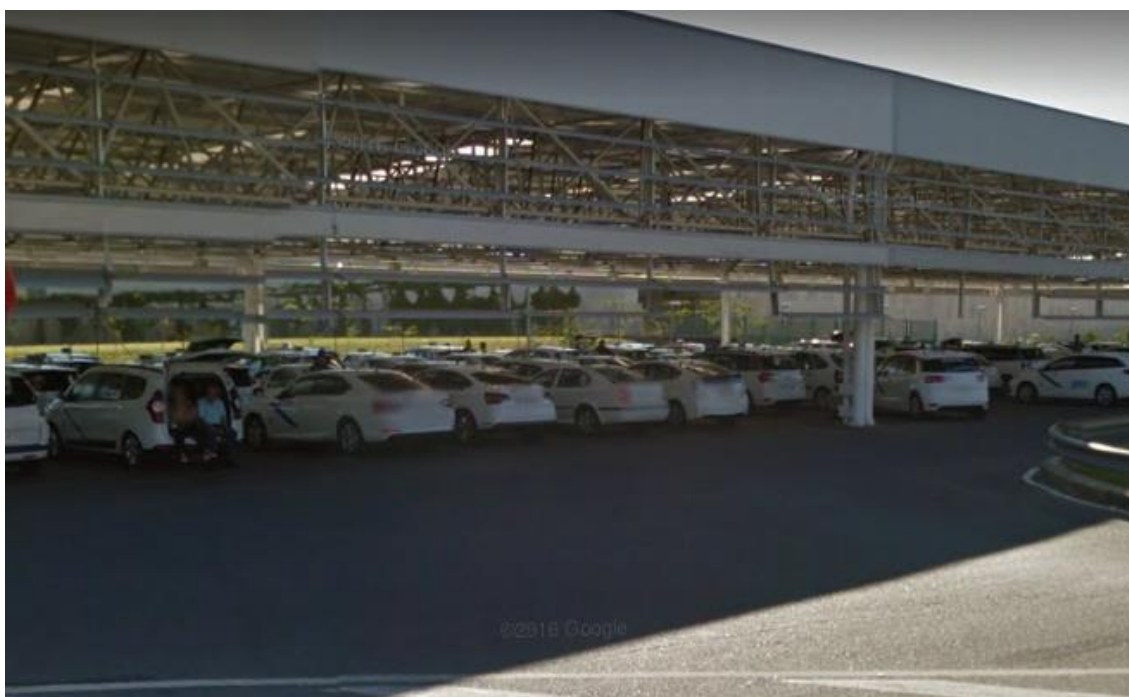
Per tal de poder veure totes les tipus de terminals possibles, s'ha escollit l'aeroport de la Costa del Sol (Màlaga) com a exemple d'una terminal més petita de les estudiades fins ara. Una terminal que tot hi ser menys concorreguda, també en disposa d'un sistema de gestió de taxis amb el seu sobre pic de demanda corresponent. Cal comentar que els

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

sistema de taxis de l'aeroport de Màlaga està gestionat per l'empresa AENOR, per tant, es normal presentar una gestió dels taxis similar a la que hi ha al Prat del Llobregat.

Batch

Al igual que en l'aeroport del Prat, l'aeroport Costa del Sol també en disposa d'una zona apartada on els taxis que arriben a la terminal per recollir passatgers, han de esperar el seu torn abans de poder ser traslladat a la zona de recollida de viatgers, amb esperes de un màxim de 2 hores aproximadament.



Il·lustració 2-4. Batch taxis aeroport Màlaga.

Organització i gestió

A continuació s'exposarà com funciona el sistema de gestió de taxis a l'aeroport de Màlaga.

Primerament, els taxis arriben per la carretera N-348 a la zona del "Batch" de taxis on esperen torn per accedir a la terminal. Un cop rebut el torn d'accedir, els vehicles es desplacen fins una petita ubicació al costat de la zona destinada a la recollida de passatgers on hi ha una acumulació de 4 o 5 taxis fent cua per accedir finalment a la recollida de gent.

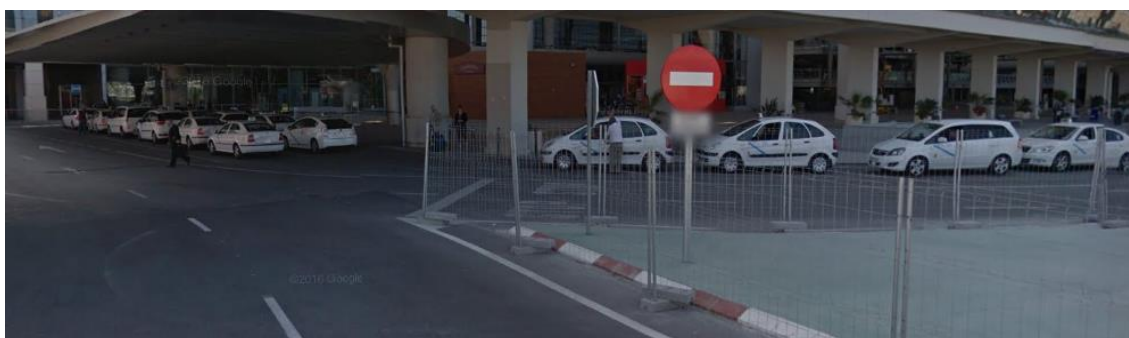


Il·lustració 2-5. Vista satèl·lit aeroport Costa del Sol

A la zona d'encotxar viatgers es formen dos files de paral·lel, cada final consta d'una llargària de 6 cotxes, on es carreguen els vehicles en ordre del més avançats als més enrederits. Degut a la distancia que hi ha entre vehicles, aquests no han de seguir cap ordre de sortida. Fent així que quan un cotxe estigui carregat, aquest pugui sortir, al igual que ser reemplaçat per un altre taxis, immediatament.

Pel que fa als civils que arriben a la parada de taxis, han de fer cua fins que una persona encarregada de gestionar els taxis, et selecciona un vehicle segons les necessitats dels viatgers.


Per poder sortir de l'aeroport els taxis tornen a dirigir-se a la carretera N-348.



Il·lustració 2-6. Gestió taxis a la terminal.

2.2.3. Estació de Sants

L'estació de Sants és un intercanviador de ferrocarril d'Adif i del metro de Barcelona situat al barri de Sants (Sants-Montjuïc) a la ciutat de Barcelona. És la principal estació

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

ferroviària de la ciutat, hi fan parada totes les línies de Rodalies de Catalunya i la majoria de trens de mitjana i llarga distància que circulen per Catalunya, connectant-la amb la resta d'Espanya i amb el sud de França.

L'any 2016 va ser l'estació d'ADIF amb més passatgers de Catalunya: 8.331.600 arribades i sortides de passatgers de trens AVE, llarga distància o Avant; 1.783.000 entrades de passatgers de trens regionals i 14.195.000 entrades de passatgers de rodalia de Barcelona. Per la seva banda, a l'estació del metro s'hi van comptabilitzar 10.113.973 entrades.

En relació a la gestió del sistema de taxis presents a l'estació de Sants, aquest està regulat per l'empresa Taximes.

Batch

A l'estació de Sants a diferència de les terminals aeroportuàries ja vistes amb anterioritat, el sistema de "Batch" de taxis té una menor capacitat, on el temps d'espera per accedir a recollir passatgers pot arribar a la hora, en els casos de majors pics de demanda. I està localitzat just al costat de la zona de recollida de passatgers.

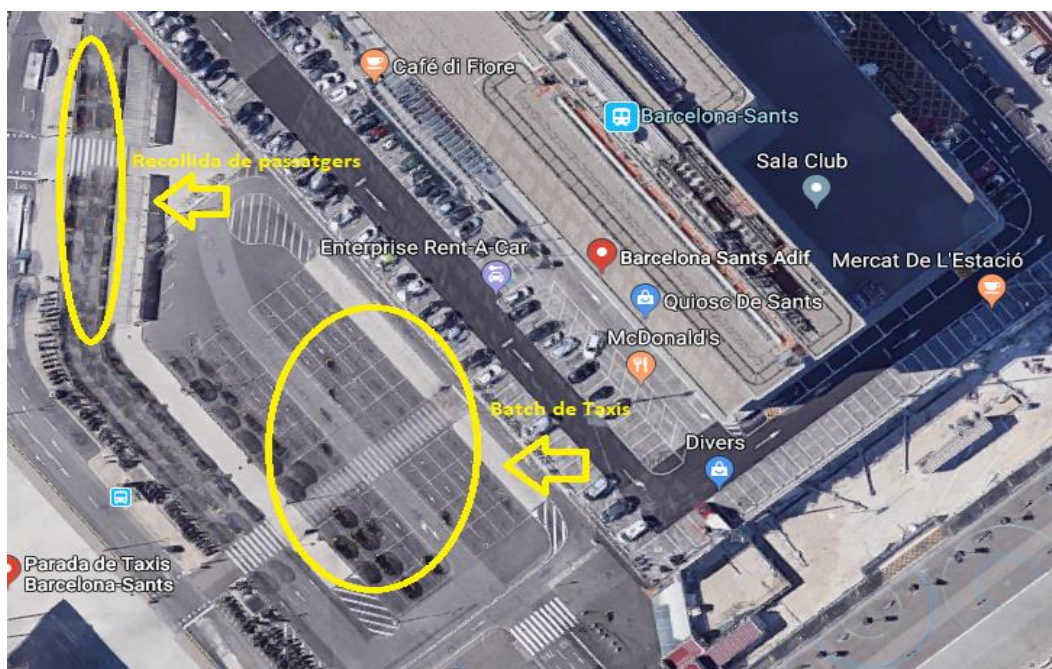


Il·lustració 2-7. Batch de estació de Sants

Organització i gestió

A continuació s'exposarà com funciona el sistema de gestió de taxis a l'estació de Sants.

Primerament, els taxis arriben per la plaça dels països catalans o el carrer de Sant Antoni a la zona del "Batch" de taxis on esperen torn per accedir a la terminal. Un cop rebut el torn d'accedir, els vehicles es desplacen fins a la zona de recollida de passatgers on fan cua en filera de 3 (en el cas que faci falta) per arribar a la ubicació corresponent. Al igual que la cua, els carrils destinant a la recollida de passatgers són 3.



Il·lustració 2-8. Estació de Sants Satèl·lit


L'organització de l'ocupació de taxis consisteix en que els vehicles es comencen a ocupar des de el mes avançat fins al mes enrederit, seguint així de mateixa manera l'ordre de sortida de l'estació. Dels tres carrils no hi ha cap que estigui reservat per a vehicles de grans dimensions, per tant aquesta classe de taxis es trobaran de manera aleatòria (en la disposició del carril) per la zona d'encotxar passatgers. Tampoc existeix cap organisme de regulació de la entrada i sortida de taxis, ja que aquesta queda autoregulada per la limitació física de l'espai, i per tant un cop han sortit tots els taxis de la zona, entraran una nova fornada llesta per recollir civils.

Un cop finalitzada l'activitat d'encotxar, els taxis surten de l'estació incorporant-se al carrer de Sant Antoni.

2.2.4. Aeroport de Barajas

Situat al nord-est de la ciutat de Madrid, a 12 quilòmetres del centre, l'aeroport espanyol públic propietat d'Aena és el primer aeroport espanyol per tràfic de passatgers, càrrega aèria i operacions, així com el cinquè d'Europa i vintena cambra del món per nombre de passatgers

L'aeroport va canviar la seva denominació de Madrid-Barajas, després de 83 anys d'ús, per la d'Adolfo Suárez Madrid-Barajas, en homenatge a un expresident espanyol mort en 2014

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

Disposa de quatre terminals destinades a l'aviació comercial de passatgers, una Terminal Executiva destinada a aviació executiva i de negocis, un centre de càrrega aèria amb més de 200 empreses instal·lades, i dues zones principals d'hangars, una a l'Antiga Àrea Industrial, entre la T3 i la T4, i una altra a l'Àrea Industrial de la Muñoza.

L'Adolfo Suárez Madrid-Barajas és el primer aeroport espanyol per tràfic de passatgers, càrrega aèria i nombre operacions. És el cinquè aeroport europeu per nombre de passatgers segons dades de tràfic de 2.014 de l'Agència Eurostat, i és el 15º aeroport del món segons l'informe anual de la Airports Council International (ACI) d'agost de 2015, amb més de 29 milions i mitjà de passatgers anuals en 2.014.

La gestió de taxis de l'aeroport de Barajas als pertànyer a la mateixa companyia (AENA) que la que s'ocupa de la gestió de les terminals de l'aeroport del Prat, i al tenir tantes similituds pel que fa a les dimensions i capacitat de passatgers, comparteixen els dos gran quantitat de similituds.

Batch

A l'igual que amb l'aeroport del Prat, l'Adolfo Suarez-Barajas també en disposa d'un sistema de taxis diferenciat per a cada terminal de l'aeroport (cadascú amb el seu zona d'espera, y una zona per la recollida de passatgers).

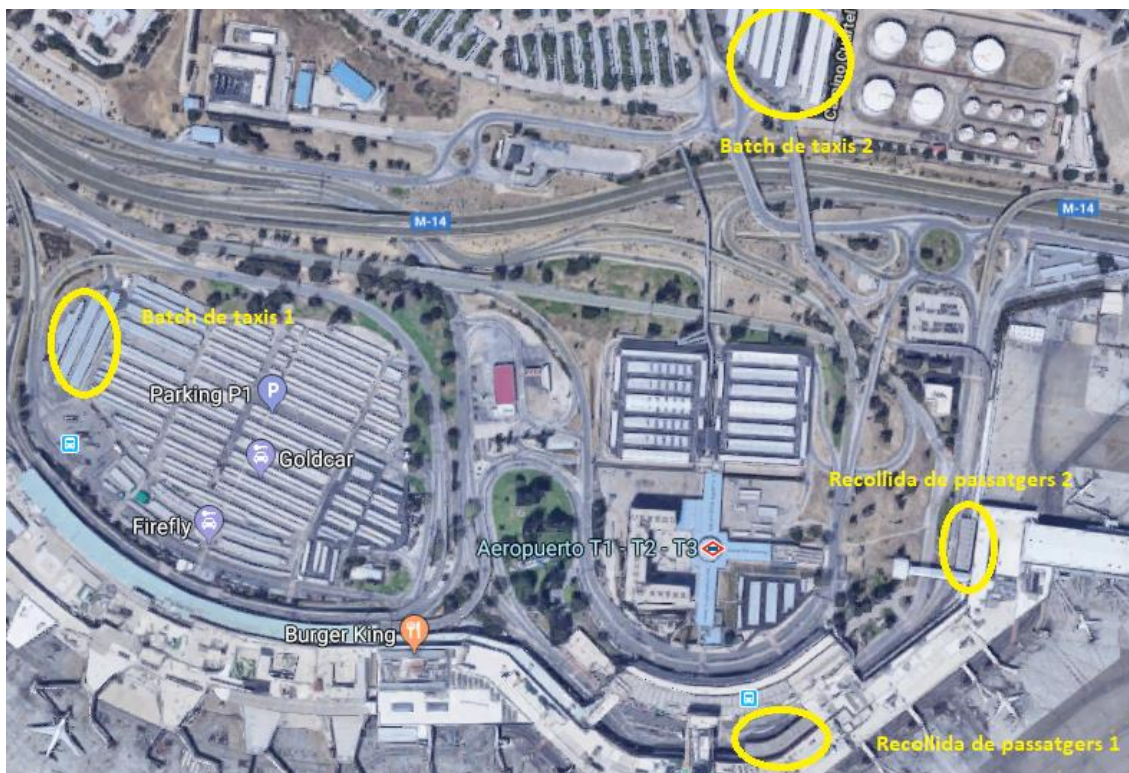
Al igual que a l'aeroport del Prat, aquest espai per a taxistes esta equipat amb lavabos i màquines expenedores amb aliment i begudes, per a que els taxistes puguin descansar i reposar, ja que poden arribar a tenir entre una i tres hores d'espera per accedir a la terminal.



Il·lustració 2-9. Bossa de taxis T1 Barajas.

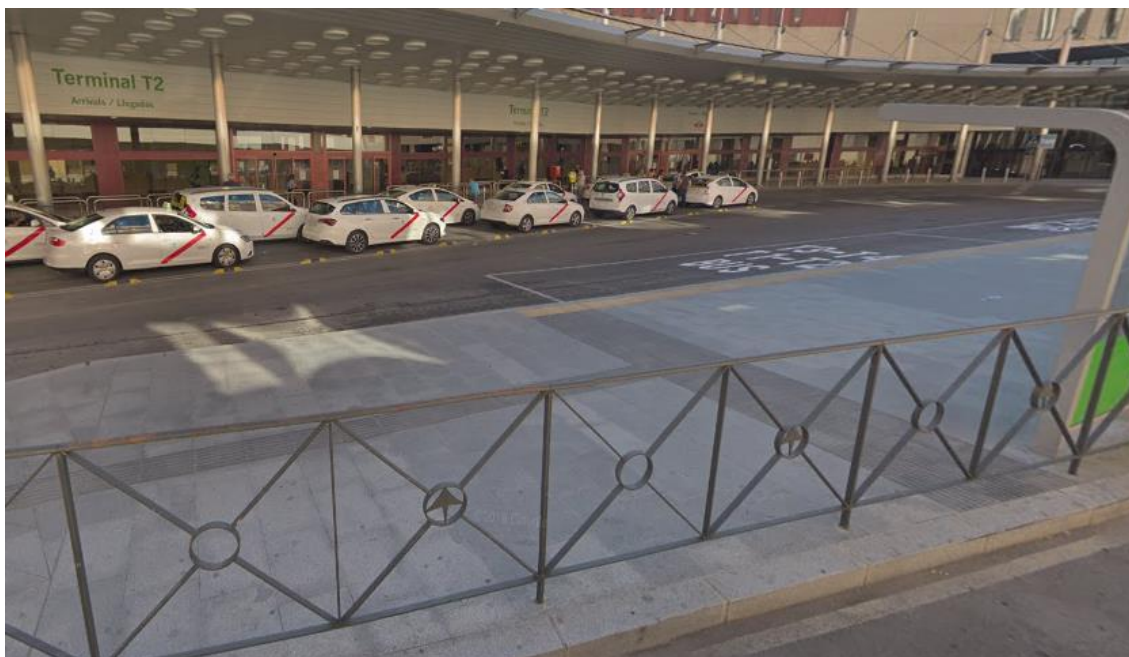
Organització i gestió

El sistema de gestió de taxis a l'aeroport de Madrid funciona de la següent manera. Primerament, els taxis que arriben a la terminal han de passar a la zona del “Batch” de taxis per l'avinguda de la hispanitat. Un cop a “la parrilla”, on s'ha explicat anteriorment, esperen al seu torn per poder entrar a la zona de collida de passatgers.



Il·lustració 2-10. Vista Satèl·lit aeroport de Barajas.

Degut a les grans dimensions de l'aeroport de Barajas les zones de bosses de taxis queden retirades a gran distància de la zona de recollida de passatgers, la qual es divideix en 2 punts de collida. Aquests dos punts, però, estan concentrats a les zones d'aterratge dels avions per tal de facilitar el desplaçament des de l'avió al taxi.



Il·lustració 2-11. Zona collida passatgers T2 Barajas.

En els dos punts de collida l'organització dels taxis es regeix de la mateixa manera. Els taxis tenen delimitat i reservat dos carris on estacionaran i carregaran als passatgers. Al igual que ocorria amb l'estació de Sants, no existeix cap sistema de regulació d'entrada i sortida dels taxis, ja que aquesta queda autoregulada per la limitació física de l'espai, i per tant un cop han sortit tots els taxis de la zona, entraran una nova fornada llesta per recollir civils, i els taxis mes enrederits que s'omplin s'hauran d'esperar a que els primers s'ocupin per poder sortir del sistema.

2.2.5. Aeroport JFK

John F. Kennedy International Airport és el principal aeroport internacional que serveix a la ciutat de Nova York. És la porta d'enllaç aèria internacional més transitada cap a Amèrica del Nord, el 22é aeroport més ocupat del món, el sisè aeroport més ocupat dels Estats Units i l'aeroport més ocupat del sistema d'aeroports de Nova York. JFK va manejar una mica més de 59 milions de passatgers en 2017 i més de noranta aerolínies operen des de l'aeroport, amb vols directes o directes a destinacions en els sis continents habitats. La seva localització es troba en Queens al sud-est de la Ciutat de Nova York, Estats Units, a uns 20 km de Manhattan.

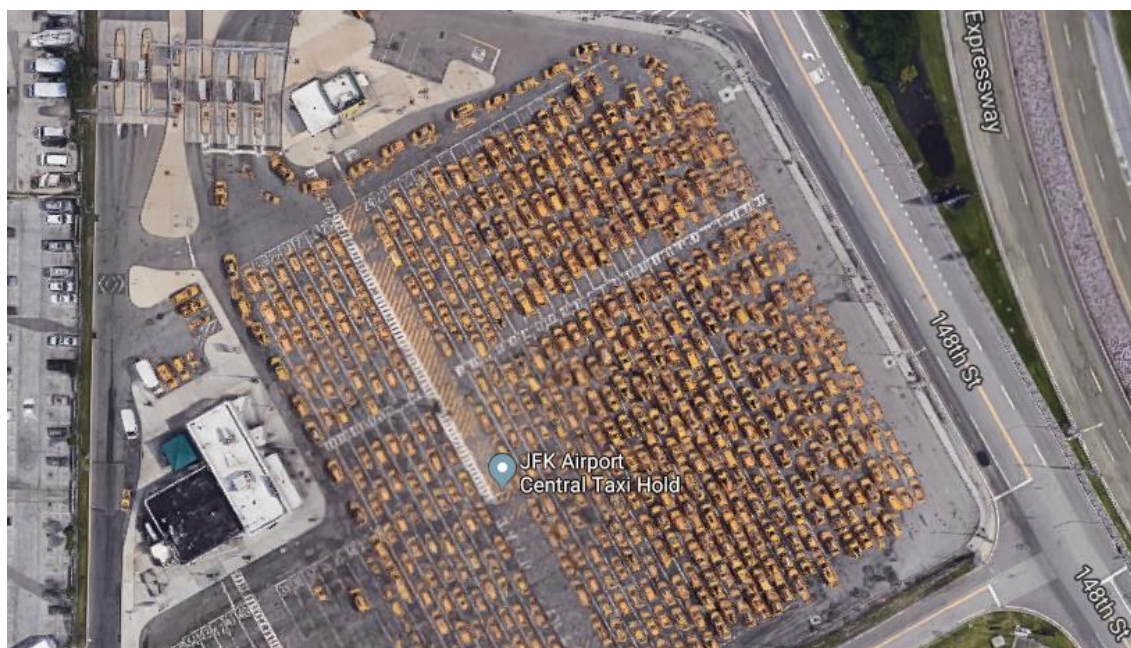


JFK té vuit terminals numerades de l'1 al 8 que formen una «U», però que salten les terminals 3 (demolides en 2013) i 6 (demolides en 2011), al voltant hi ha estacionaments, hotels, una planta elèctrica i altres serveis de l'aeroport. Les terminals estan connectades pel sistema de metres AirTrain i altres camins d'accés.

Batch

L'aeroport JFK a diferència dels aeroports estudiats fins ara, no en té una zona de “Batch” de taxis per a cadascuna de les terminals disponibles, sinó que només en té una, la qual abastirà totes les terminals que ho necessitin.

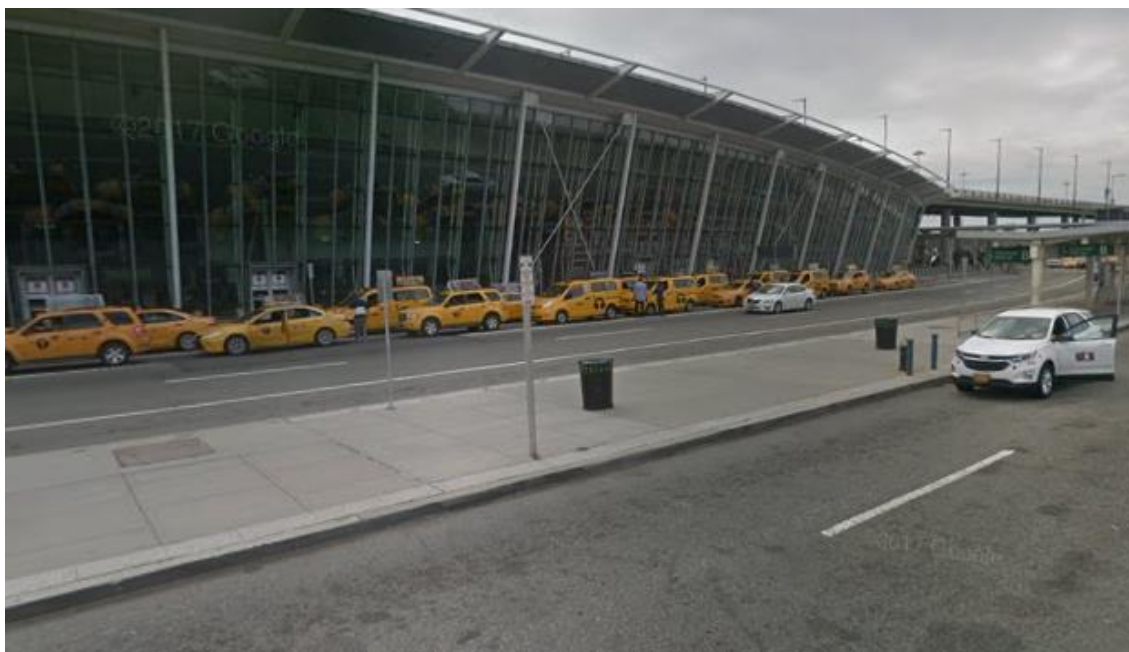
Contràriament al que semblaria de primera mà en referència al temps d'espera a la zona del “hold” de taxis, l'espera dels conductors per poder accedir a recollir passatgers a les diferents terminals és d'una mitja d'una hora tot hi ser un emplaçament amb una capacitat de taxis molt superior a la de l'aeroport del Prat o de Barajas per exemple.



Organització i gestió

L'organització i la gestió del sistema de taxis de l'aeroport americà JFK funciona de la següent manera. Primerament, els taxis arriben a la zona de “Batch” pel carrer 148 on han de romandre fins que arriba el seu torn.

En aquest punt abans de sortir de la zona de “hold”, a cada taxi se li assigna una terminal on s'ha de dirigir. Normalment les terminals assignades seran la número 2, 4, o 7 ja que les restants estan destinades a sortides de vols.




De manera molt semblant a la del Prat del Llobregat, en aquí els taxis s'organitzen en filera de 2 a la zona de collida de passatgers, on el taxis que s'ocupin podran sortir sense haver de fer cua i abandonar la zona per ordre. Es desconeix el sistema que s'utilitza per cridar noves incorporacions de vehicles a encotxar passatgers.

2.2.6. Punts en comú i idea general

Una vegada estudiats diferents classes de terminals (estació de trens, aeroports majorment) localitzades a diferents punts del món, es poden extreure diferents punts en comú per fixar-nos a l'hora de realitzar el model del nostre projecte.

El primer punt en comú i essencial per a qualsevol terminal és el de disposar d'una reserva de taxis esperant el seu torn per poder passar a la zona de càrrega de passatgers, el ja conegut "Batch". Aquest "Batch" variarà en la seva mida segons les necessitats de cada terminal, i en el cas de que aquest estigui ubicat lluny de la zona per encotxar, es reservarà una petita porció de terreny amb la mateixa capacitat que la zona de càrrega de vianants amb la funció de pulmó directe per aquetsa, el també conegut "Pre-Batch".

L'organització i la gestió de la terminal vindrà determinada per la seva demanda, sempre seguint el sistema FIFO (first in first out), en el cas de que es requereixi una classe de taxi especial (taxis mes grans i amb major capacitat), es dividirà l'espai del "Batch" per poder gestionar els taxis especials a part dels convencionals. Lo mateix passarà en la zona de càrrega, la qual segons les necessitats que presenti es dividirà en 2, 3 o 4 carrils per encotxar.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

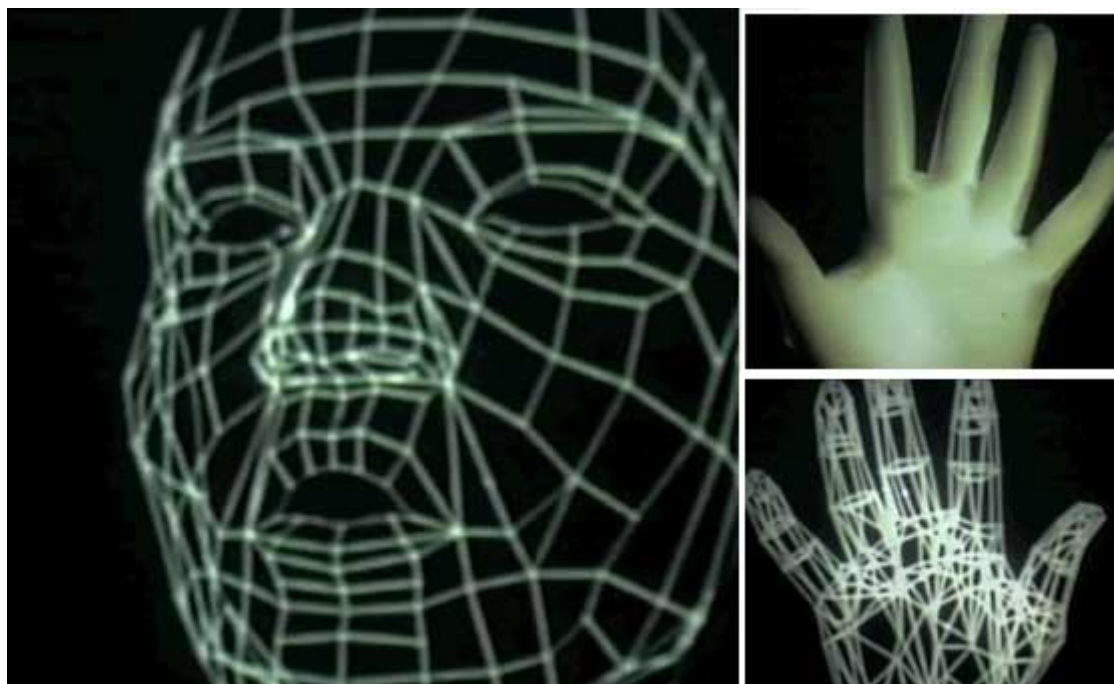
Finalment, el recorregut a realitzar els taxis sempre serà seguint un circuit definit seguint un mateix camí des de que s'entra al "Batch", fins que es surt de la terminal, així evitant entrecreuaments i respectant el torn que li pertoca a cadascun dels taxis.

2.3. Estat de l'art dels simuladors

Si es contempla la simulació des de el punt més global possible en trobem amb la seva pròpia definició, la qual diu que és la creació o la representació de "alguna cosa" amb la fi d'obtenir o no un resultat. L'ús de la simulació com a tal, es una activitat molt antiga que ha estat sempre inherent amb l'esser humà i amb el seu aprenentatge, com per exemple el fet d'un nen jugant amb un objecte, que no és més que una representació a escala d'un objecte real. Per a poder comprendre la realitat i tota la complexitat que un sistema pot comportar, ha estat necessari construir artificialment objectes i experimentar amb ells dinàmicament abans d'interactuar amb el sistema real. Aquesta primera definició, però, és massa global, i si s'acota una mica més el cercle, arribem a la simulació digital. La simulació digital és una tècnica que permet imitar (o simular) en un ordinador el comportament d'un sistema real o hipotètic segons certes condicions particulars d'operació. Per a això serà necessari construir objectes (models) que representin la realitat, de tal manera que puguin ser interpretats per un ordinador.

Aquestes tècniques han adquirit recentment una importància cada vegada més rellevant en la resolució de diferents tipus de problemes pràctics; és usual trobar aplicacions en enginyeria, economia, medicina, biologia, ecologia o ciències socials.

La simulació 3D, per un altre cantó, no és tan antiga com la digital, la qual va venir de la mà de la creació de les animacions en 3D i encara es continua perfeccionant i desenvolupant. Una de les primeres exhibicions d'animació per computadora va ser Futureworld (1976), que incloïa una animació d'un rostre humà i una mà que havia aparegut anteriorment en el curtmetratge experimental en 1972 denominat "A Computer Animated Hand", creat pels estudiants Edwin Catmull i Fred Parke de la Universitat de Path. No obstant, els programes de gràfics 3D per computadora per a ordinadors domèstics no van començar a aparèixer fins a la fi dels anys 70. El primer exemple conegut és 3D Art Graphics, un conjunt d'efectes gràfics 3D creat per Kazumasa Mitazawa i llançat en el mercat el juny de 1978 per a l'Apple II.




Il·lustració 2-12. Primera animació en 3D.

No va ser fins a la dècada dels 90 quan l'indústria dels videojocs va desenvolupar la tecnologia de la simulació en 3D començant a treballar en videojocs amb entorns tridimensionals, principalment en el camp dels PC, obtenint diferents resultats des de les "2D i mitjana" de Doom, 3D completes de 4D Boxing, a les 3D sobre entorns pre-renderitzats de Alone in Dark.

Prenent una visió més cognitiva, el desenvolupament de jocs ha donat als desenvolupadors les eines per crear teories i mètodes per modelar i simulant caràcters d'ordinador, narració i emocions humanes, i integrant pedagogia amb narració al medi de joc interactiu.

El modelatge i la simulació de les emocions humanes es troben a la frontera dels jocs i simulacions en xarxa. Per al món de l'entreteniment, el futur dels jocs inclou el desenvolupament d'una experiència tan envolupant que compromet les emocions dels jugadors a un nivell visceral. Els sectors militar, de seguretat nacional, de defensa i de traumes hospitalaris necessiten una capacitat de simulació basada en jocs similar que abasti l'espectre d'entreteniment i els desenvolupadors de jocs seriosos (simulacions realistes). Aquesta capacitat ha d'investigar-se a fons per a determinar per endavant el seu potencial impacte humà.

Tot hi haver realitzat un gran recorregut el món de la simulacions en 3D, encara els queda molt per créixer de la mà del món dels videojocs i del desenvolupament de la tecnologia relacionada amb les capacitats computacionals del ordinadors, per poder ser capaços de

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

realitzar simulacions cada cop més complexes. Com és el cas de la NASA, la qual a partir d'un article va explicar com s'estudien els cossos estel·lars de les galàxies més properes a partir de simulacions, ja que són necessàries moltes dècades per poder veure l'evolució d'aquests cossos. I un dels seus investigadors anomenat Klein va mencionar que "Sense els vastos recursos computacionals de la NASA, no hauria estat possible produir aquestes simulacions immenses i complexes que inclouen totes les variables. Les simulacions ORION2 incorporen una mescla complexa de gravetat, turbulència supersònica, hidrodinàmica (moviment del gas molecular), radiació, camps magnètics i sortides de gas altament energètiques".

3. Presentació dades a simular i eines


3.1. Eines

3.1.1. FlexSim

FlexSim és un software de simulació creat per l'empresa holandesa Flexsim Software Products, Inc. (FSP) al any 2003. FlexSim és un software dedicat a la simulació d'esdeveniments discrets i orientat a objectes en 3D, per així poder oferir un potent suport visual al client.

Per a la realització de la simulació del parc de taxis d'una terminal genèrica s'havia d'escollir el simulador més versàtil del mercat i que a l'hora sigues econòmic, ja que no deixa de ser un projecte estudiantil. Per tant, s'ha acabat escollint FlexSim per les següents raons:

- Facilitat d'ús: És un software fàcil d'entendre, intuïtiu i amb una gran varietat de manuals i "tutorials" per facilitar l'aprenentatge de l'eina.
- Econòmic: Amb una versió de prova i una versió final a un preu de 10 dollars, és un sistema viable per a un estudiant.
- Simulador 3D: Per aquest projecte era indispensable que el simulador estigués suportat per un apartat visual en 3D. Tot hi haver altres simuladors més coneguts com el Arena de Rockwell Automation, Flexim presenta un motor gràfic més potent (OpenGL), i per tant no està tant limitat a l'hora de realitzar grans simulacions en 3D.
- Versàtil: Flexim és un software amb un llenguatge orientat a objectes, en C més concretament. Tot hi que no sigui l'objectiu d'aquest projecte haver de programar sobre el simulador, en el cas de que s'hagi de completar aquest sistema amb

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

programació per part de l'usuari, un llenguatge de programació comú com és el C, es idoni per algú que utilitza aquest software per primera vegada.

- Importar objectes: FlexSim al ser un producte destinat a les indústries, es poden trobar mancança de objectes a simular que formin part del propi programa inicial. No obstant, FlexSim disposa de capacitat de poder importar dibuixos des de autoCAD i fins hi tot arxius d'imatge (.png, .jpg i .bmp).

3.1.2. Arena

Arena Software Simulation és un programa de simulació de processos creat per l'empresa Rockwell Automation. La simulació d'esdeveniments discrets descriu un procés amb un conjunt d'esdeveniments únics i específics en el temps. Aquests models flexibles, basats en activitats, es poden usar de manera efectiva per simular gairebé qualsevol procés. Durant 30 anys, Arena ha estat el software de simulació d'esdeveniments discrets capdavanter al món.

Per a la realització d'aquest projecte s'ha escollit l'Arena com a software precursor de les simulacions, és a dir, s'utilitzarà l'Arena per realitzar una primera simulació orientativa a partir de la qual es basaran les posteriors simulacions més complexes en 3D amb el FlexSim.


3.1.3. AutoCAD

AutoCAD és un software de dibuix tant en 2D com en 3D de la casa Autodesk. El qual s'utilitzarà la seva versió gratuïta d'estudiant per aquest projecte.

En aquest projecte s'hauran de realitzar plànols i "layouts" del terreny a simular a partir de les dades obtingudes proporcionades per el professor Jaume Figueras. Un cop realitzats el plànols en amb l'AutoCAD, es podrà tractar de recrear-los en el programa de simulació FlexSim.

Com s'ha comentat anteriorment, FlexSim és un programa informàtic destinat a la simulació de projectes de plantes de producció. Tot el material de simulació que faci falta per manqui del FlexSim, serà dissenyat amb l'AutoCAD.

Tots els plànols i "layouts" que es realitzin durant aquest projecte aniran a càrrec d'aquest software.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

3.1.4. SketchUp

SketchUp és un eina de dibuix tècnic gratuït, que pertany al grup d'arquitectes Trimble Buildings. SketchUp és molt versàtil, amb el qual es poden fer esbossos de dibuixos, plànols a nivell tècnic com “layouts” tant en 2D com en 3D de manera senzilla.

En aquest projecte s'ha escollit l'eina SketchUp per a poder modelar en 3D els plànols realitzats amb l'Autocad en 2D, ja que és un software molt intuïtiu, fàcil d'utilitzar i d'aprendre a fer servir. A més, FlexSim és un software destinat a la simulació industrial, el que vol dir que no està preparat amb llibreries com per a poder simular objectes de la vida quotidiana com es el cas del nostre projecte, per tant SketchUp ha sigut escollit per la seva gran varietat de formats d'exportació disponibles.

SketchUp al ser un eina d'esbós en 3D, està preparat amb una gran varietat de textures per poder dotar de major realisme als objectes que s'exportin al FlexSim. Textures tals com carreteres, murs, rajoles, vidrieres, etc.


3.1.5. Microsoft Project

Al inici del treball es planificarà la gestió del temps i activitats que es creuen que sorgiran en aquest projecte. El Microsoft Project és una eina disponible amb el paquet d'office de l'empresa Microsoft destinada a la gestió del temps i de recursos per a la realització de projectes. En suposa que el treball de final de màster és una activitat gratuïta o que no hauria de tenir costos significatius, per tant, en aquest projecte no s'obviarà la gestió dels recursos empleats en aquest, enfocant exclusivament en la gestió del temps al llarg d'aquest quadrimestre.

3.1.6. Unity

Unity és un motor de videojoc multi plataforma gratuït creat per Unity Technologies. Unity, el qual està disponible com a plataforma de desenvolupament per a Microsoft Windows, US X, Linux.

Unity pot utilitzar-se juntament amb Blender, 3ds Max, Maia, Softimage, Manera, ZBrush, Cinema 4D, Cheetah3D, Adobe Photoshop, Adobe Fireworks i Allegorithmic Substance. Els canvis realitzats als objectes creats amb aquests productes s'actualitzen automàticament en totes les instàncies d'aquest objecte durant tot el projecte sense necessitat de tornar a importar manualment.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

El motor gràfic utilitzat és OpenGL (en Windows, Mac i Linux), Direct3D (només en Windows), OpenGL ES (en Android i IOS), i interfícies propietàries (Wii). Té suport per a mapatge de relleu, mapatge de reflexos, oclusió ambiental en espai de pantalla, ombres dinàmiques utilitzant mapes d'ombres, render a textura i efectes de post processament de pantalla completa.

Els llenguatges de programació que accepta la plataforma Unity són C# i Java.

3.2. Dades

Com s'ha comentat amb anterioritat, aquest projecte tracta de realitzar una simulació en 3D d'un projecte real, i per tant, un projecte de que s'han obtingut les dades des de un sistema real. A continuació es presentaran les dades que amb les que es realitzarà el projecte.


3.2.1. Marc preliminar

Primerament, cal presentar el marc de temps on es realitzaran les simulacions. Segons l'estudi previ amb el qual s'obtenen les dades per aquest projecte, la terminal a estudiar presenta el seu pic de passatgers més gran de 9:00 a.m. a 10:00 a.m., per tant la simulació es realitzarà en un període de temps que englobi aquest interval.

Taula 3-1. Pics de passatgers en intervals de temps

Interval	Nombre màxim de passatgers
7:00 a 8:00	663
8:00 a 9:00	1881
9:00 a 10:00	2939
10:00 a 11:00	838

Una segona dada preliminar per a realitzar l'estudi de simulació són els grups de persones que es consideraran i el seu percentatge d'arribades per hora. S'han estimat i classificat grups de passatgers segons la suma del número de persones i maletes que presenta cada grup. El resultat és la classificació de 4 grups anomenats B1 el grup amb un total més gran de maletes i persones, B2 el segon més voluptuós, B3 el tercer i B4 el grup més lleuger i més ràpid a priori.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

Taula 3-2. Percentatge d'arribades per grup.

Grup	Interval	Percentatge d'arribades
B1	7:00 a 8:00	11%
B2	8:00 a 9:00	33%
B3	9:00 a 10:00	33%
B4	10:00 a 11:00	23%

Com a tercera dada preliminar tenim les funcions de temps que triguen cada tipus de grup per a pujar als vehicles a l'hora d'encotxar.

Taula 3-3. Distribucions temps de pujar taxi segons secció.

Secció	Distribució temps encotxar
B1	Tria(103, 136, 321)
B2	logn(70, 25)
B3	logn(52, 17)
B4	logn (31,18)

Finalment com a últims valors preliminars tenim una sèrie de dades que s'han establert mitjançant el judici del estudiant.

Taula 3-4. Altres dades

Dada	Valor
Velocitat de desplaçament de persones	2 m/s
Velocitat de desplaçament de taxis	20 km/h
Temps d'assignació de taxi a passatger	5s
Temps de retard d'accions	0s

4. Presentació del problema

4.1. Teoria de la xarxa de Petri

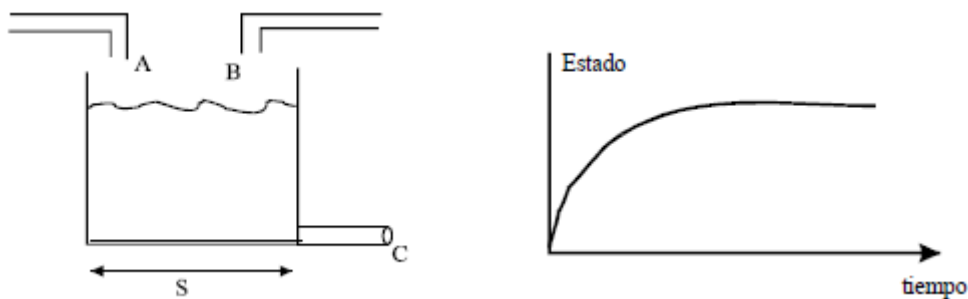
A l'hora de realitzar la simulació de qualsevol sistema, primerament s'ha d'identificar els diferents organismes que en formen part d'aquest, dotant-lo de vida cadascú amb la seva funció particular.

Al observar un sistema de la forma que atorga la teoria que regeix les xarxes de Petri, es poden distingir diferents tipus d'elements, els quals s'introduiran a continuació.

Model

El model es una representació simplificada del sistema real, per incrementar el nostre coneixement, modificar-lo, predir el seu comportament o estudiar-lo. Esta basat en hipòtesis i aproximacions, mai a una representació perfecta de la realitat. I actualment existeixen tres tipus diferents de model dinàmics; els continus, els discrets i els d'esdeveniments discrets.

Sistemes continus: les variables d'estat del sistema evolucionen de manera contínua al llarg del temps. Un exemple d'aquest tipus de sistemes és l'evolució de la temperatura en una habitació durant qualsevol interval de temps, o bé la del nivell del líquid en un tanc.




Il·lustració 4-1. Evolució d'un sistema continu

Sistemes discrets: es caracteritzen que les propietats d'interès del sistema canvien únicament en un cert instant o seqüència d'instants, i romanen constants la resta del temps. La seqüència d'instants en els quals l'estat del sistema pot presentar un canvi obeeix a un patró periòdic.

Sistemes orientats a esdeveniments discrets: igual que els sistemes discrets, es caracteritzen que les propietats d'interès del sistema canvien únicament en una seqüència d'instants de temps i, podem considerar que romanen constants la resta del temps. La seqüència d'instants en els quals l'estat del sistema pot presentar un canvi obeeix a un patró aleatori. És utilitzat per contemplar el conjunt d'esdeveniments que afecten al comportament del sistema, i contempla l'atzar present en els processos.

A partir d'aquest tipus de sistemes bàsics es poden crear de nous i més complexes a mesura que es realitzen combinacions entre ells, però ens centrarem en els models de sistemes d'esdeveniments discrets ja que serà el tipus de model que s'estudiarà en el nostre cas a estudiar.

Els models d'esdeveniments discrets són models dinàmics, estocàstics i discrets en els quals les variables d'estat canvien de valor en instants no periòdics del temps sense estar

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

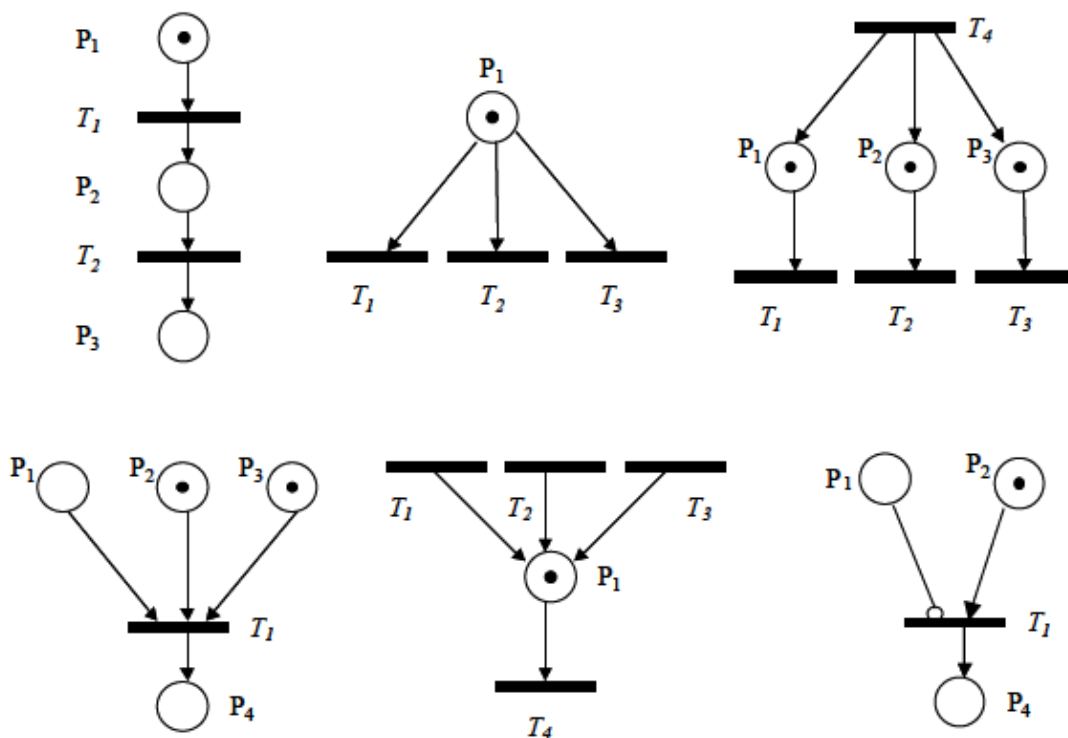
dirigits per un rellotge. Aquests instants de temps es corresponen amb l'ocurrència d'un esdeveniment. Per tant, un esdeveniment es defineix com una acció instantània que pot canviar l'estat del model. Els elements que formen el model són:

- Activitats: són les tasques o accions que tenen lloc en el sistema. Estan encapsulades entre dos esdeveniments. Per exemple, la reparació d'una màquina, el processament d'una peça o el transport d'un client. Les activitats generalment tenen durada temporal i, normalment, precisen de l'ús de recursos.
- Entitats: són el conjunt d'objectes que constitueixen o flueixen pel sistema. Poden ser temporals o permanents. En la bibliografia sovint s'empra el concepte d'entitat per al·ludir només a les entitats temporals, encara que en aquest llibre el concepte és més ampli atès que també inclou als recursos. Això ens permet mantenir la coherència amb els múltiples formalismes emprats en el procés d'abstracció del sistema.
- Entitats temporals: són els objectes que es processen en el sistema, com per exemple les peces, els clients o els documents. Entitats diferents poden tenir característiques diferents que denominarem atributs: per exemple, preu, prioritat, estat o grandària. Les entitats temporals són els objectes que arriben, es processen i surten del sistema.
- Recursos o entitats permanents: són els mitjans gràcies als quals es poden executar les activitats. Els recursos defineixen qui o què executa l'activitat. Els recursos poden tenir característiques com a capacitat, velocitat, avaries i reparacions o temps de cicle. Exemples de recursos són les màquines, els elements de transport o les persones.

Xarxes de Petri

Els models d'esdeveniments discrets es basen fonamentalment en els conceptes d'esdeveniment i activitat. Un esdeveniment genera un canvi en les variables d'estat i una activitat encapsula el que succeeix entre dos esdeveniments. Les xarxes de Petri permeten representar de forma natural un model d'esdeveniments discrets.


Una xarxa de Petri és a grans trets una forma gràfica de representació d'un model d'esdeveniments discrets, en la que els nodes de lloc representen el meu sistema i les transicions descriuen els esdeveniments que succeeixen al sistema.



Il·lustració 4-2. Unitats de les xarxes de Petri

Com es pot veure a la il·lustració (4-3. Unitats de les xarxes de Petri), a partir del les combinacions bàsiques entre els nodes i les transicions, es poden crear xarxes més complexes. Aquests mecanismes representats son:

- Execució seqüencial: es mostra el pas entre nodes a partir de les transicions on la transició T2 només pot ser disparada a després que de la T1. Les transicions succeeixen seqüencialment.
- Conflicte o decisió: en aquí només una de les transicions pot ser activada a l'hora a partir del node.
- Concurrencia: A partir d'una transició sorgeixen diferents activitats, no tenen per que tenir la mateixa durada.
- Sincronització: És necessari que tots els nodes estiguin actius per poder disparar la següent transició.
- Agrupació: Es disposa de tres opcions per poder ocupar el node.
- Inhibició: L'arc d'inhibició no permet en aquest cas la transició T1 quan P1 té una o més marques (en funció del pes de l'arc).

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

4.2. Model del sistema

Com ja s'ha explicat amb anterioritat, el sistema que es pretén modelar en aquest projecte és un basat en la recollida amb taxis de un gran volum passatgers a una gran terminal de transport. La qual cosa evoca a que hi hagi dos entitats diferents (persones i taxis) que es desplaçaran pel sistema, a més d'interactuar amb el propi sistema, amb els recursos que aquest presenta i entre elles d'igual manera.

El fet de tenir dos entitats amb tant de pes en el sistema evoca a que hi apareixen dos xarxes de Petri, una per a cada entitat, les quals s'estudiaran primerament per separat i finalment de manera conjunta, ja que el sistema que englobi les dos entitats serà el model a seguir a l'hora de realitzar les simulacions.

A continuació es presentaran els tipus d'objectes que apareixeran a les xarxes de Petri per tal d'entendre-les millor:


- Activitats: Com el seu propi nom indica, seran les activitats que realitzaran les entitats en el sistema, les cues també es consideren una activitat.. Representades amb la "A" seguida d'un número, de forma rodona i color blau. (Ex: A1, A2...).
- Transicions: Hi ha de dos tipus, instantànies i temporals, permetran el desplaçament per la xarxa de Petri entre activitats. Estan representades amb a barres allargades (amb forat les temporals i sense les instantànies) de color blau, amb la "T" seguida d'un número com a identificador. (Ex: T2, T4...).
- Recursos: Són aquells objectes, persones o llocs que les entitats requereixen del sistema per realitzar una activitat, són limitats. S'identifiquen amb la lletra "R" seguida d'un número i estan representats amb rodones de color taronja.
- Característiques: No totes les entitats són iguals, tant cotxes com persones presenten diferències com pot ser la capacitat de viatgers en el cas dels taxis o la suma del grup passatger més equipatge en el cas de les persones.

4.2.1. Exposició del problema

En aquest punt s'exposarà de manera breu i resumida el recorregut i les activitats que faran cadascuna de les entitat del sistema, les persones i els cotxes. També es comentarà quin tipus de característiques presentaran aquestes i els recursos que hi apareixeran.

Persones

Primerament, els viatgers al entrar al sistema hauran de fer una cua per poder separar-los en tres grans grups de passatgers (tipus $g(A)$, $g(B)$ i $g(C)$). Aquests tres grups vindran caracteritzats per la suma total que presenti el grup de persones que viatgi conjuntament

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

i el seu equipatge, és a dir, viatgers + maletes, sent així “A” els que presentin un número més baix i “C” el més gran.

Un cop caracteritzat i separat cada grup de persones, aquests passatgers hauran de realitzar una segona cua per tal d’esperar el seu torn d’ocupar un taxi i encotxar-se per poder sortir del sistema.

Taxis

De mateixa manera que passava amb les persones, els taxis al entrar al sistema realitzaran una cua inicial a la zona del “Batch” on esperaran el seu torn per poder accedir a la segona zona. En aquesta primera cua es realitzarà una primera separació de vehicles (tipus C(A), C(B)), sent C(A) els taxis amb mides estàndard i C(B) els que tenen una major capacitat d’emmagatzematge.

Seguidament els taxis accediran a la segona zona “Pre-Batch” on realitzaran una segona cua abans d’accedir a encotxar passatgers. En la cua del “Pre-Batch” tant els cotxes “A” com els “B” se’ls designarà una el sector i subsector per on entrar a la zona de collida de passatgers segons el tipus de cotxe i grup de viatgers que recolliran. Cada sector consta de dos subsectors amb una capacitat de 18 vehicles estacionats.


Finalment, els taxis al accedir a la zona de recollida, encotxaran passatgers i sortiran del sistema un cop finalitzin l’activitat. Només quan hagin sortit tots els taxis d’un subsector (18 taxis) en podrà entrar una nova fornada.

4.2.2. Xarxa de Petri de persones

A continuació es descriuran cadascun dels elements pertanyents cadascuna de les transicions de la xarxa de petri de persones:

Taula 4-1. Transicions de la xarxa de petri de persones.

Transicions	
Identificació	Descripció
T17	Entrada al sistema dels passatgers
T18	Transició de la cua inicial a la cua que pertany al grup de persones del tipus "A".
T19	Transició de la cua inicial a la cua que pertany al grup de persones del tipus "A i B".
T20	Transició de la cua inicial a la cua que pertany al grup de persones del tipus "B".
T21	Transició de la cua inicial a la cua que pertany al grup de persones del tipus "C".
T8	Transició cap a encotxar en taxis de classe mitjana ("A") del sector N° 1.
T9	Transició cap a encotxar en taxis de classe mitjana ("A") del sector N° 1.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

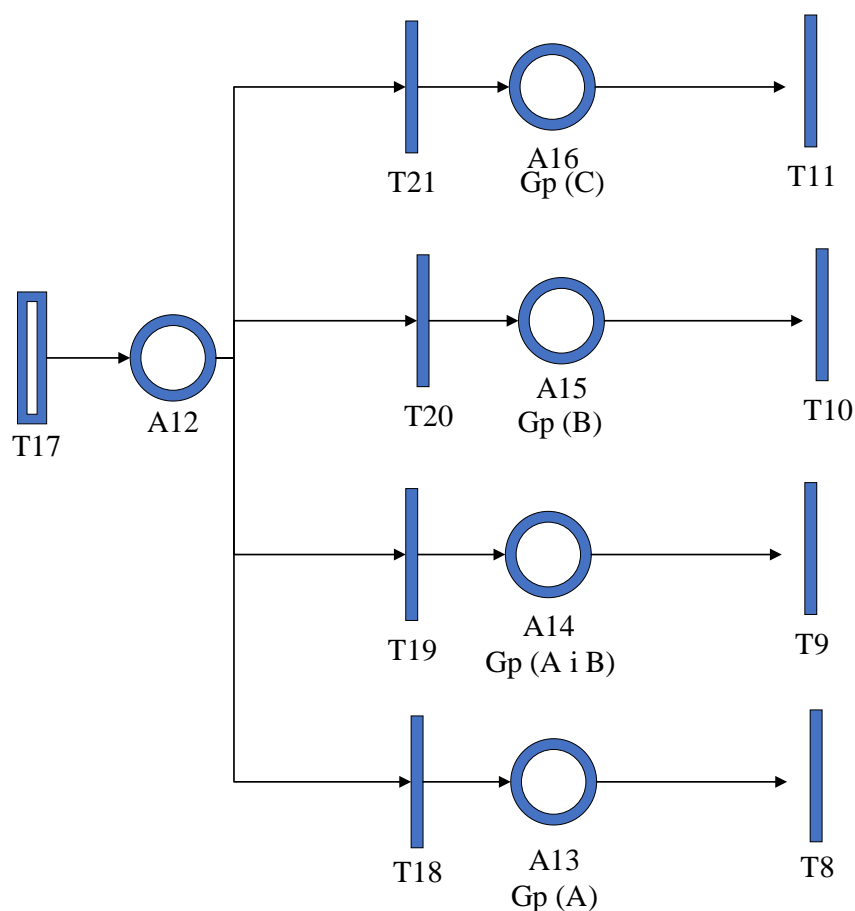
T10	Transició cap a encotxar en taxis de classe mitjana ("A") del sector N° 2.
T11	Transició cap a encotxar en taxis de classe gran ("B") del sector N° 2.

To seguit es descriuran cadascun dels elements pertanyents cadascuna de les accions de la xarxa de petri dels taxis:


Taula 4-2. Accions Petri persones.

Accions	
Identificació	Descripció
A12	Cua inicial del passatgers al entrar al sistema.
A13	Cua del grup de viatgers del tipus "A".
A14	Cua del grup de viatgers del tipus "A i B".
A15	Cua del grup de viatgers del tipus "B".
A16	Cua del grup de viatgers del tipus "C".

A continuació es mostrarà la xarxa de Petri de les persones:



Il·lustració 4-4. Xarxa de Petri de persones.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

4.2.3. Xarxa de Petri de taxis

A continuació es descriuran cadascun dels elements pertanyents cadascuna de les transicions de la xarxa de petri dels taxis:

Taula 4-3. Transicions de la xarxa de petri de taxis.

Transicions	
Identificació	Descripció
T1	Entrada de taxis al sistema.
T2	Transició del Batch de taxis al Pre-Batch de taxis de classe "A"
T3	Transició del Batch de taxis al Pre-Batch de taxis de classe "B"
T4	Transició en el Pre Batch cap a cua de subsector en la zona de Pre-Batch
T5	Transició en el Pre Batch cap a cua de subsector en la zona de Pre-Batch
T6	Transició en el Pre Batch cap a cua de subsector en la zona de Pre-Batch
T7	Transició en el Pre Batch cap a cua de subsector en la zona de Pre-Batch
T8	Transició cap a encotxar en taxis de classe mitjà ("A") del sector N° 1.
T9	Transició cap a encotxar en taxis de classe mitjà ("A") del sector N° 1.
T10	Transició cap a encotxar en taxis de classe mitjà ("A") del sector N° 2.
T11	Transició cap a encotxar en taxis de classe gran ("B") del sector N° 2.
T13	Sortida de Taxis del sistema
T14	Sortida de Taxis del sistema
T15	Sortida de Taxis del sistema
T16	Sortida de Taxis del sistema

To seguit es descriuran cadascun dels elements pertanyents cadascuna de les accions de la xarxa de petri dels taxis:

Taula 4-4. Accions de la xarxa de petri de taxis.

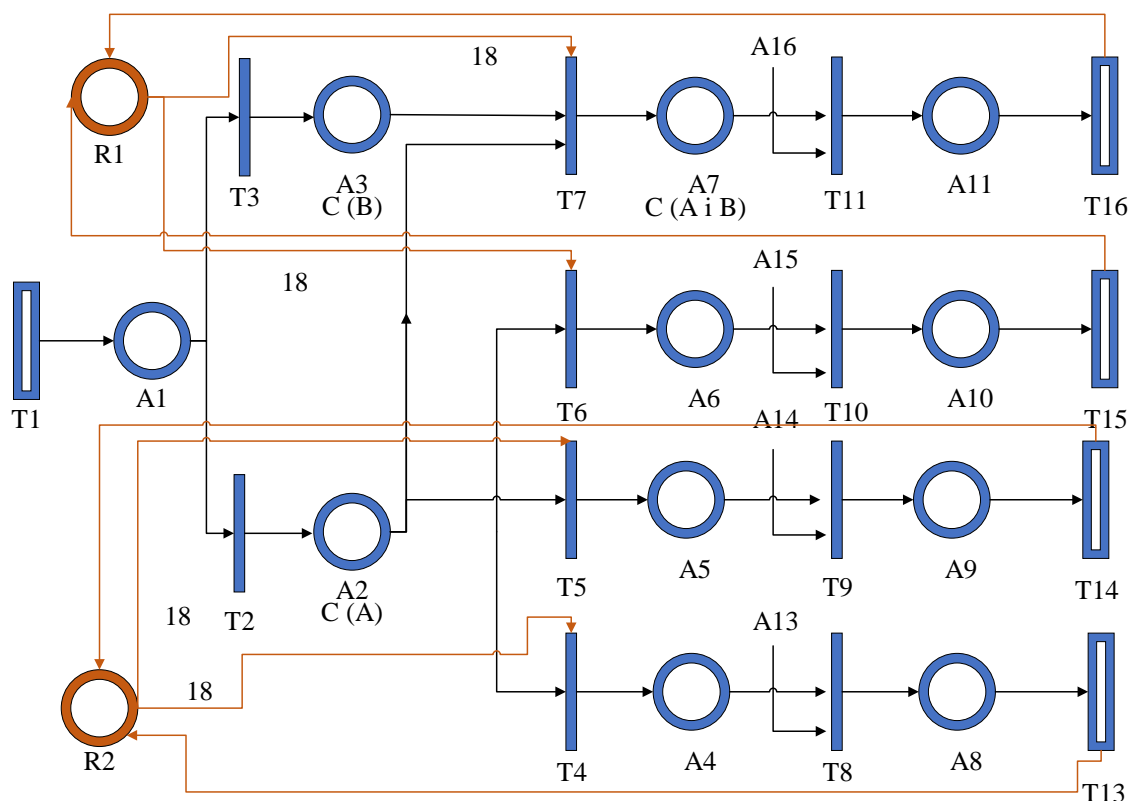
Accions	
Identificació	Descripció
A1	Cua zona Batch inicial de taxis
A2	Cua zona Pre-Batch taxis del tipus "A".
A3	Cua zona Pre-Batch taxis del tipus "B".
A4	Cua Pre-Batch per accedir al subsector 1
A5	Cua Pre-Batch per accedir al subsector 2
A6	Cua Pre-Batch per accedir al subsector 3
A7	Cua Pre-Batch per accedir al subsector 4
A8	Encotxar passatgers
A9	Encotxar passatgers
A10	Encotxar passatgers
A11	Encotxar passatgers

I finalment, es descriuran cadascun dels elements pertanyents cadascuna de les transicions de la xarxa de petri dels taxis:

Taula 4-5. Recursos de la xarxa de petri de taxis.

Recursos	
Identificació	Descripció
R1	Places de taxis del sector 1
R2	Places de taxis del sector 2

A continuació es mostrarà la xarxa de Petri de taxis:




Il·lustració 4-5. Xarxa de Petri de taxis.

5. Gestió del temps

5.1. Activitats programades

A continuació es mostrarà un llistat amb totes les activitats a realitzar durant el projecte, la duració que es preveu que tindran, tot hi saber que hi poden haver variacions ja que es el primer com que es realitza un projecte d'aquest tipus, i els recursos que seran necessaris per poder realitzar cadascuna de les tasques. A més, també es pot trobar la relació que

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

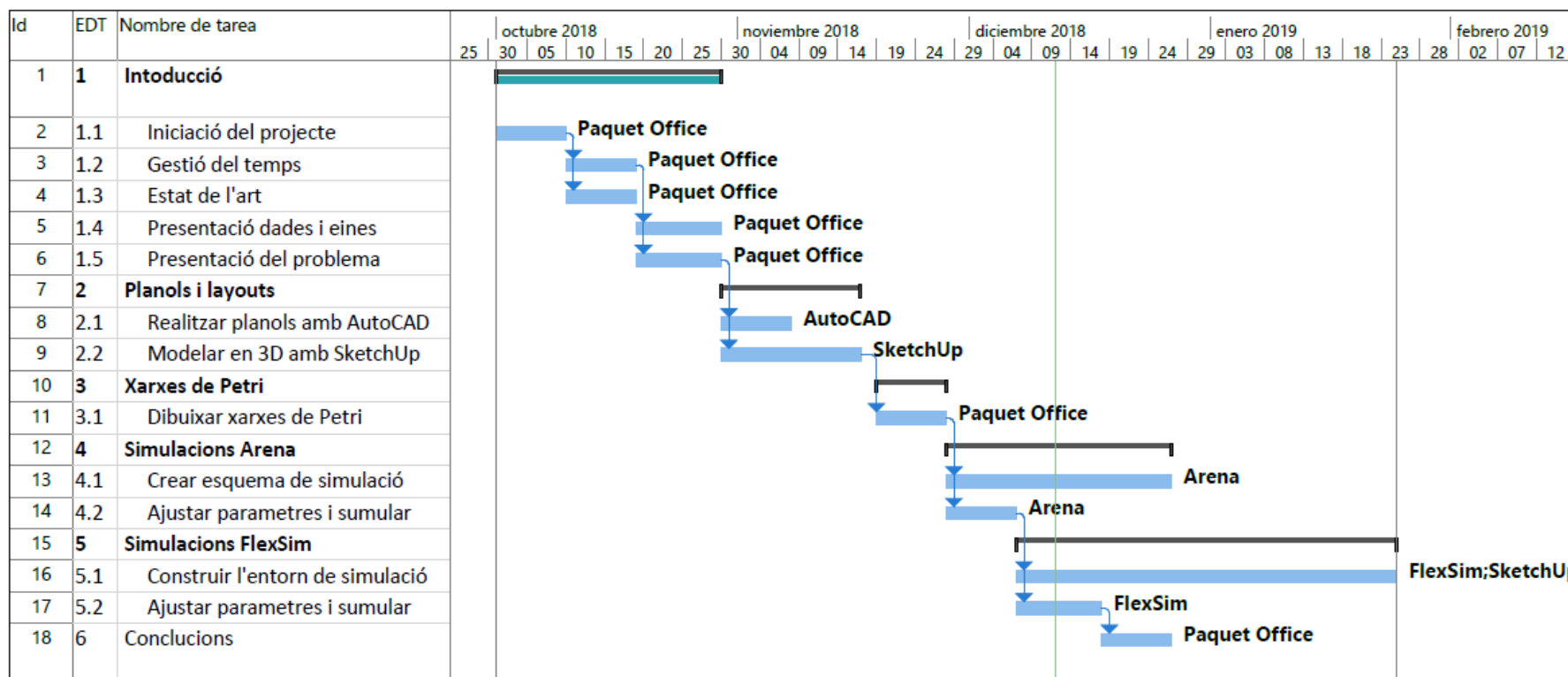
presenten cada activitat entre elles. “SF” és l’acrònim de la paraula anglesa “start to finish”. Ex: l’activitat 1.2. Gestió del temps amb relació SF 1.1 vol dir que l’activitat 1.2 Gestió del temps començarà quan 1.1. Iniciació del projecte finalitzi.

Taula 5-1. Llista d'activitats programades pel projecte.

ID	Activitats	Duració	Relació	Recursos
1.	Introducció	3W		Paquet Office
1.1.	Iniciació del projecte	1 W	-	Paquet Office
1.2.	Gestió del temps	1 W	SF 1.1	
1.3.	Estat de l'art	1 W	SF 1.1	Paquet Office
1.4.	Presentació dades i eines	1 W	SF 1.2	Paquet Office
1.5.	Presentació del problema	1 W	SF 1.2	Paquet Office
2.	Plànols i “layouts”.	3 W		
2.1.	Realitzar plànols amb AutoCAD	1W	SF 1.5	AutoCAD, SketchUp
2.2.	Modelar en 3D amb FlexSim	3W	SF 2.1	AutoCAD, SketchUp
3.	Xarxes de Petri	2 W		
3.1.	Dibuixar xarxes de Petri	2 W	SF 1.5	Paquet Office
4.	Simulacions Arena	3W		
4.1.	Crear esquema de simulació	1 W	SF 3.1	Arena, Paquet Office
4.2.	Ajustar paràmetres i simular	3W	SF 4.1	Arena, Paquet Office
5.	Simulacions FlexSim	6W		
5.1.	Construir l'entorn de simulació	6W	SF 4.2	FlexSim, Paquet Office
5.2.	Ajustar paràmetres i simular	1W	SF 5.1	FlexSim, Paquet Office
6.	Conclusions	1 W	SF 5.2	Paquet Office



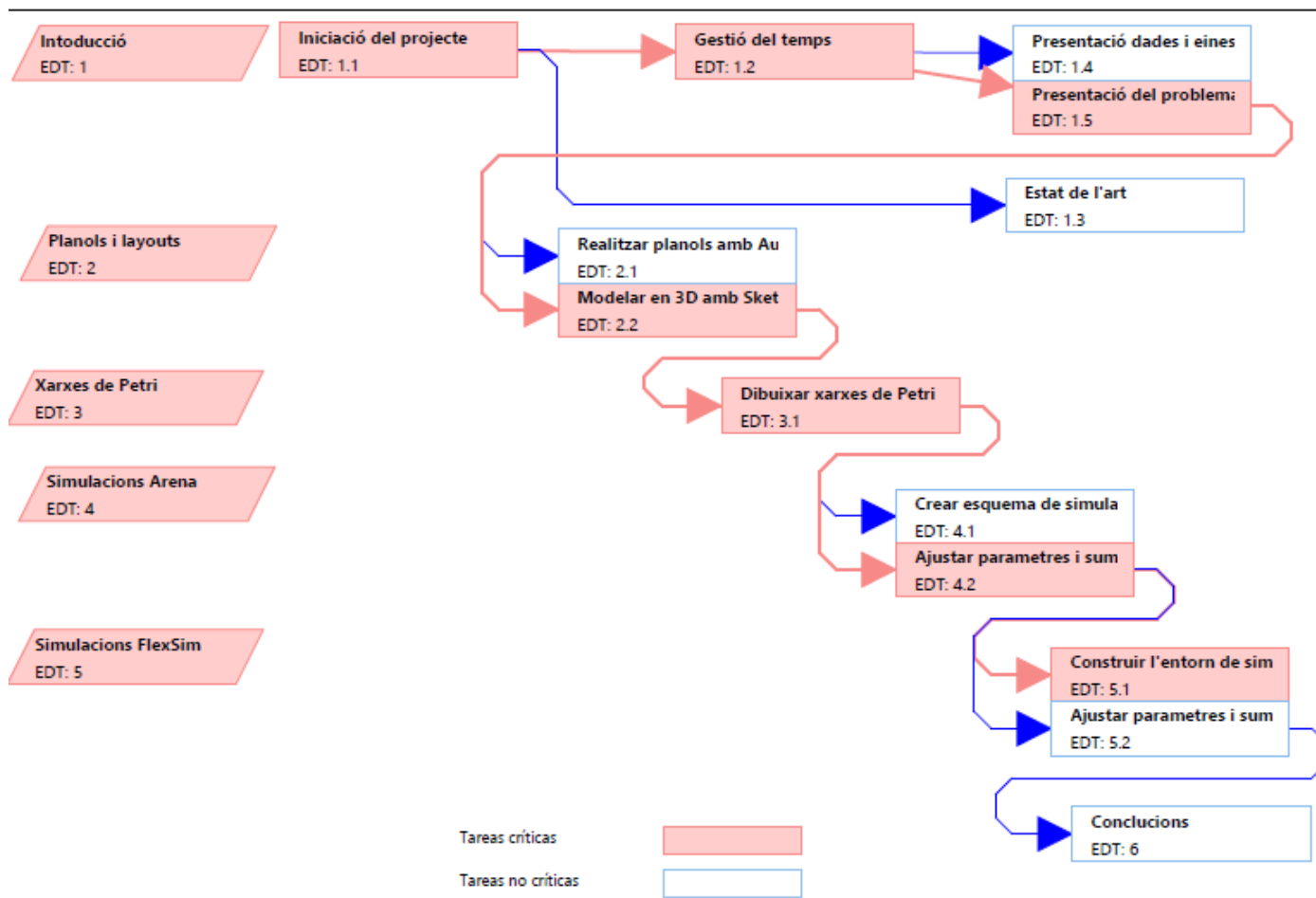
5.2. Diagrama de Gantt




¹ Aquesta planificació es va realitzar abans de proposar el Unity com a tercer simulador a estudiar.




5.3. Diagrama de flux



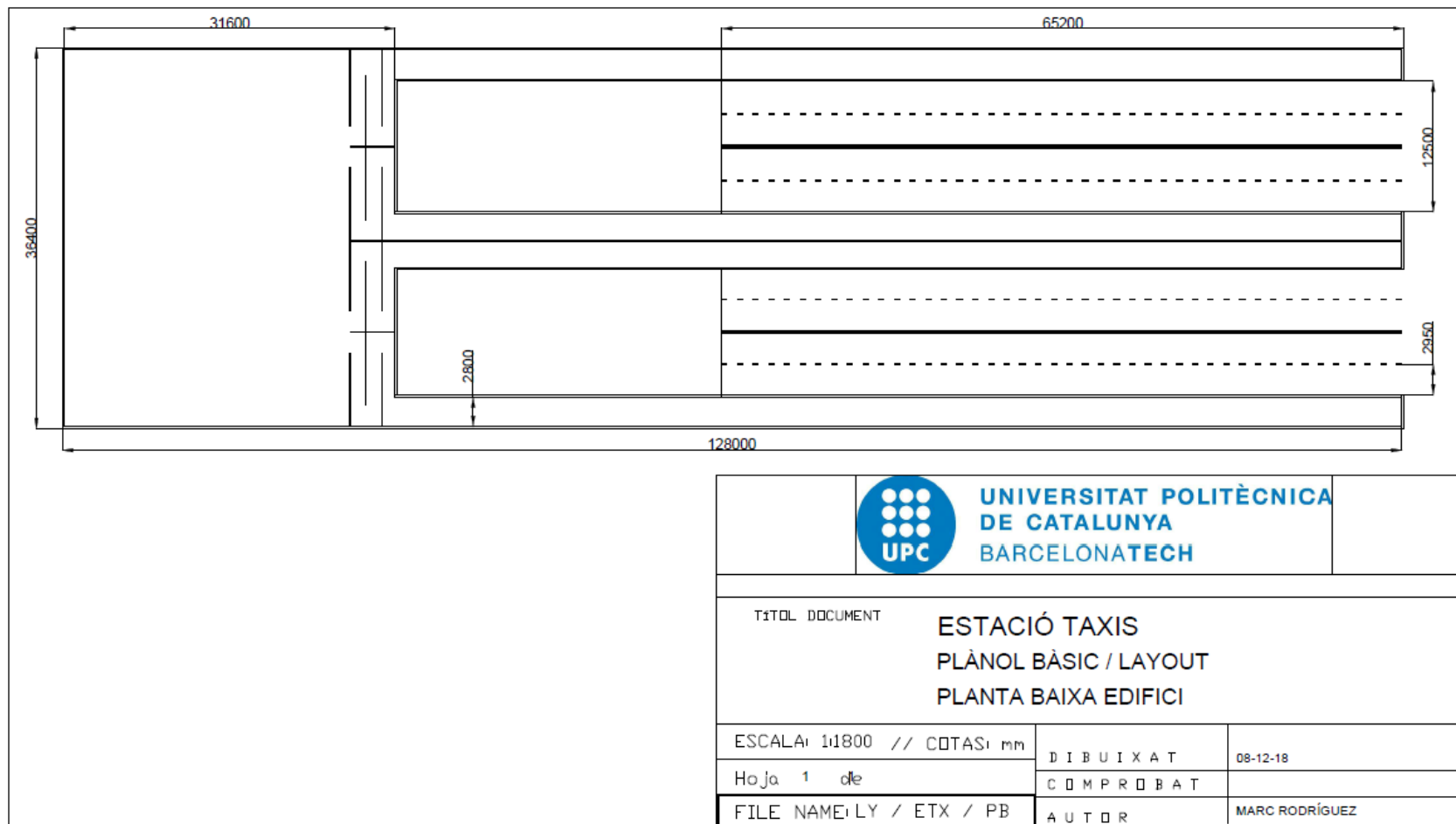
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH <hr/> Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019


6. Plànols, esbossos i representacions 3D

6.1. Plànols CAD

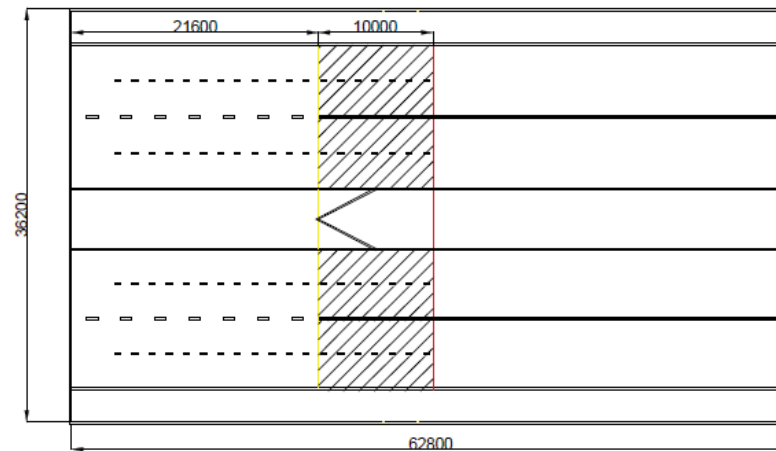
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

6.1.1. Planta baixa



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

6.1.2. Primera planta



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH**

TÍTOL DOCUMENT

ESTACIÓ TAXIS
PLÀNOL BÀSIC / LAYOUT
PLANTA 1 EDIFICI

ESCALA: 1:1800 // COTAS: mm

DIBUIXAT

08-12-18

Hoja 1 de

COMPROBAT

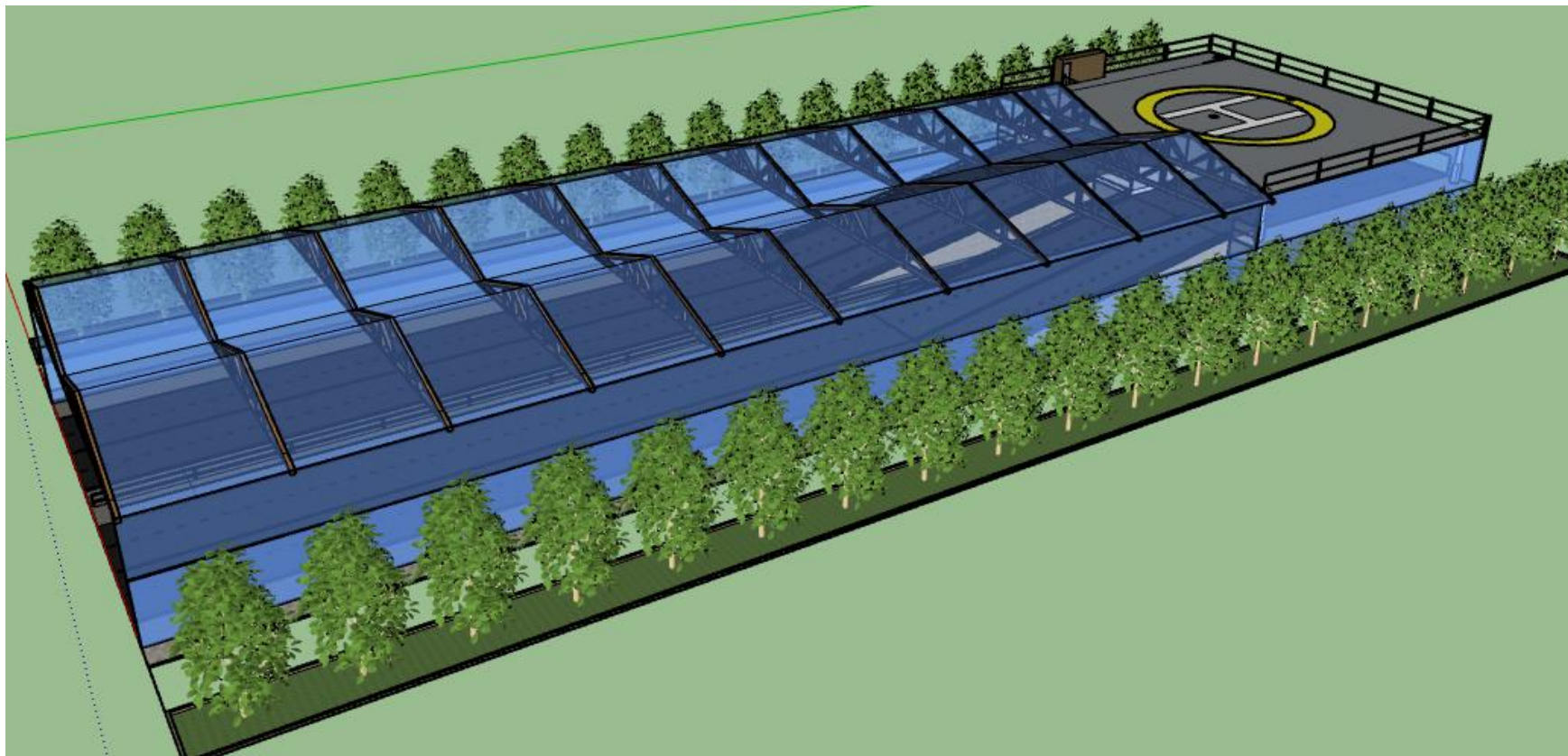
FILE NAME: LY / ETX / P1

AUTOR

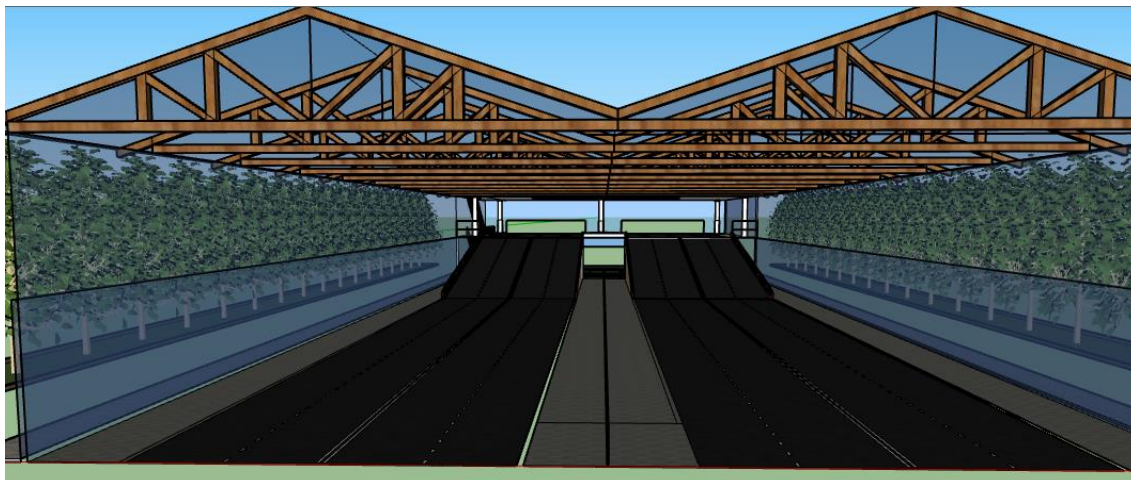
MARC RODRÍGUEZ



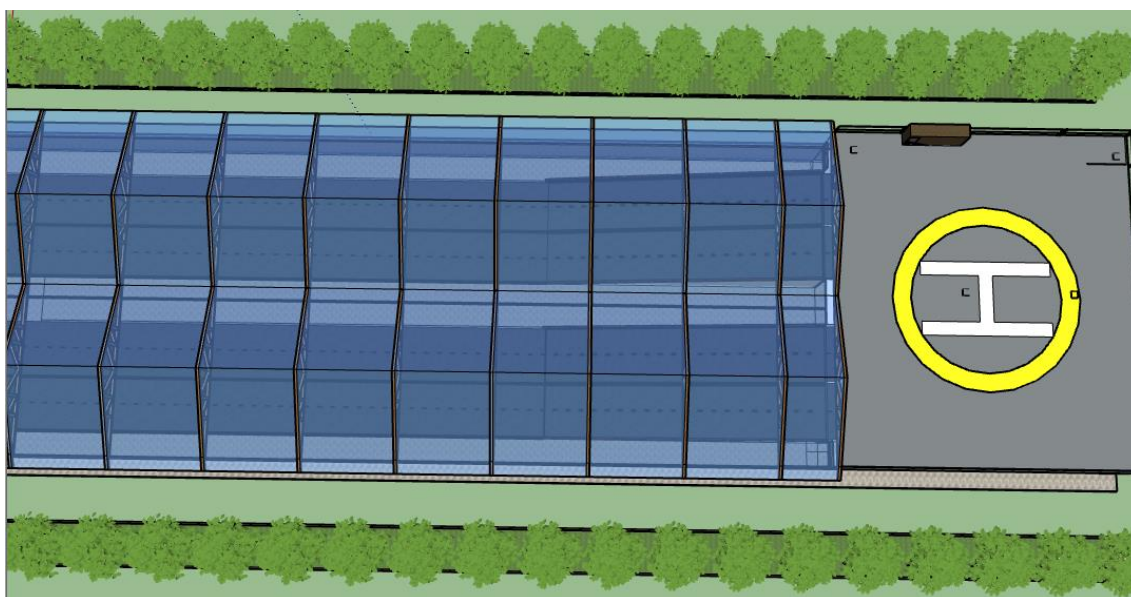
6.2. Representació 3D



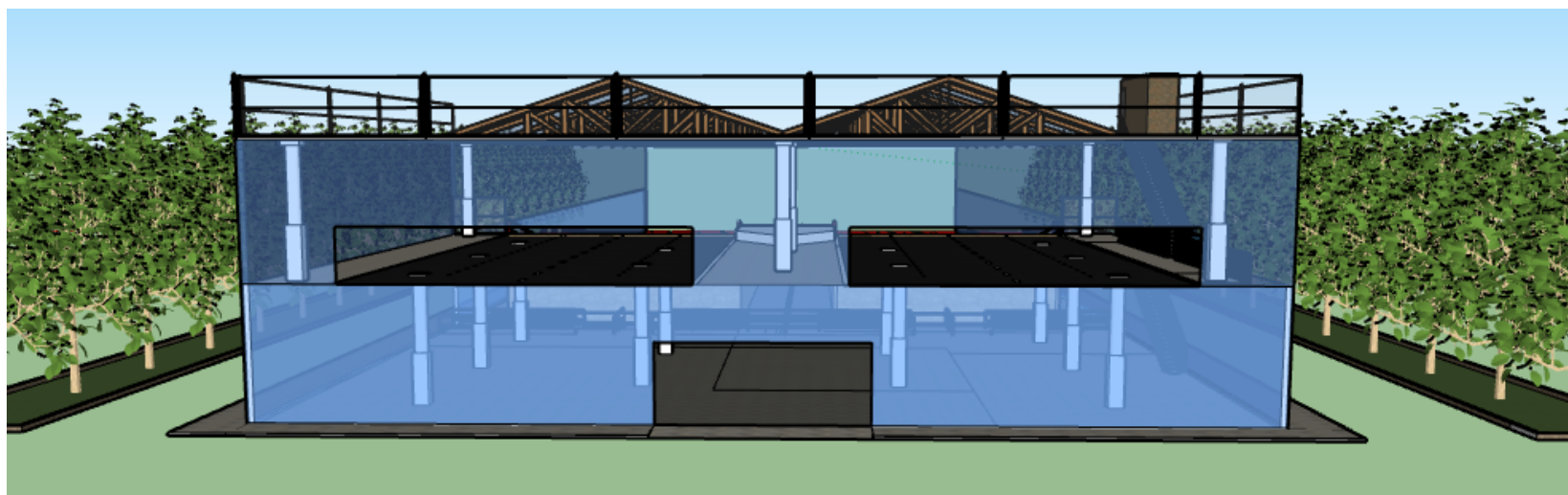
Il·lustració 6-1. Model edifici en perspectiva.



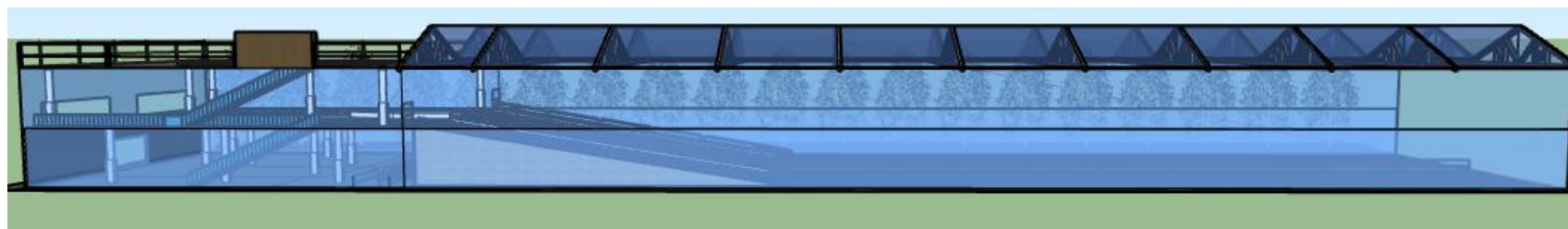
Il·lustració 6-2. Model edifici sortida de taxis.



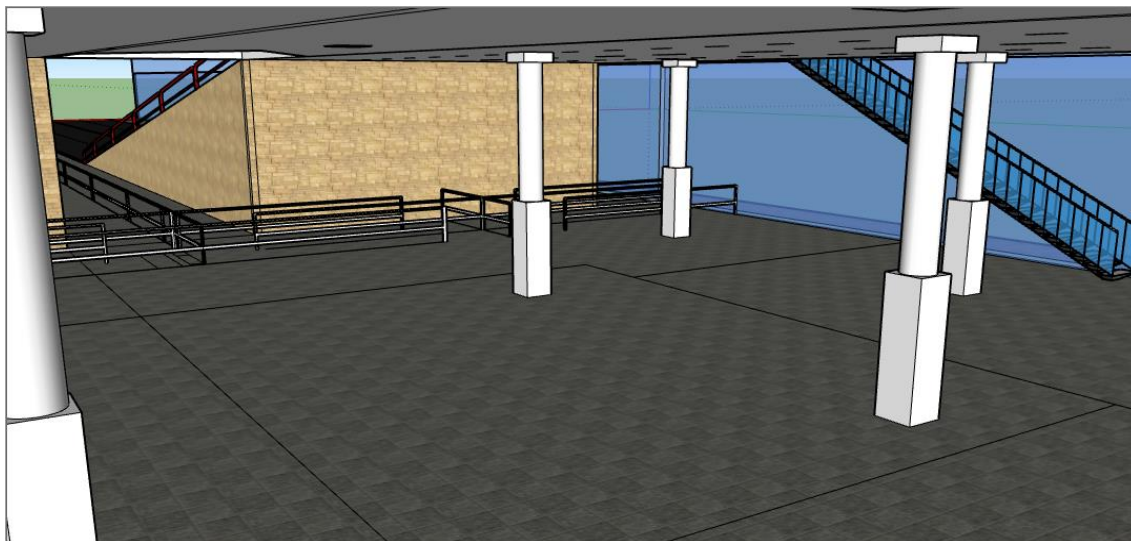
Il·lustració 6-3. Model edifici vista en planta



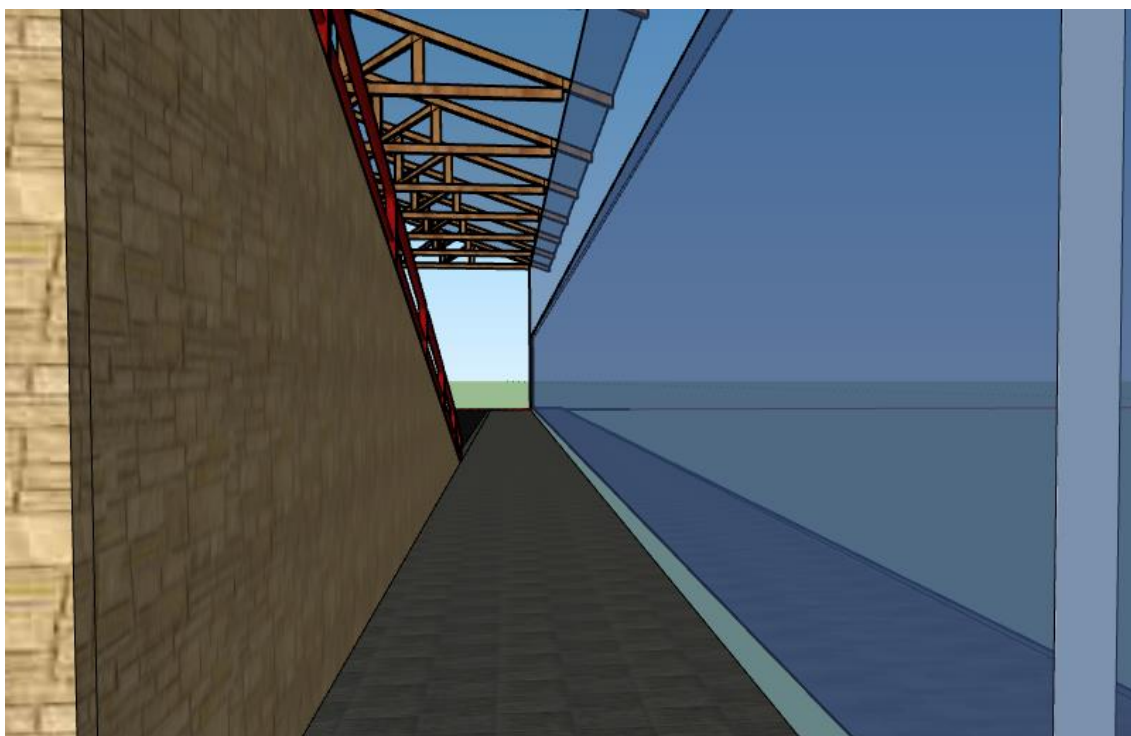
Il·lustració 6-4. Model edifici entrades de persones i taxis.



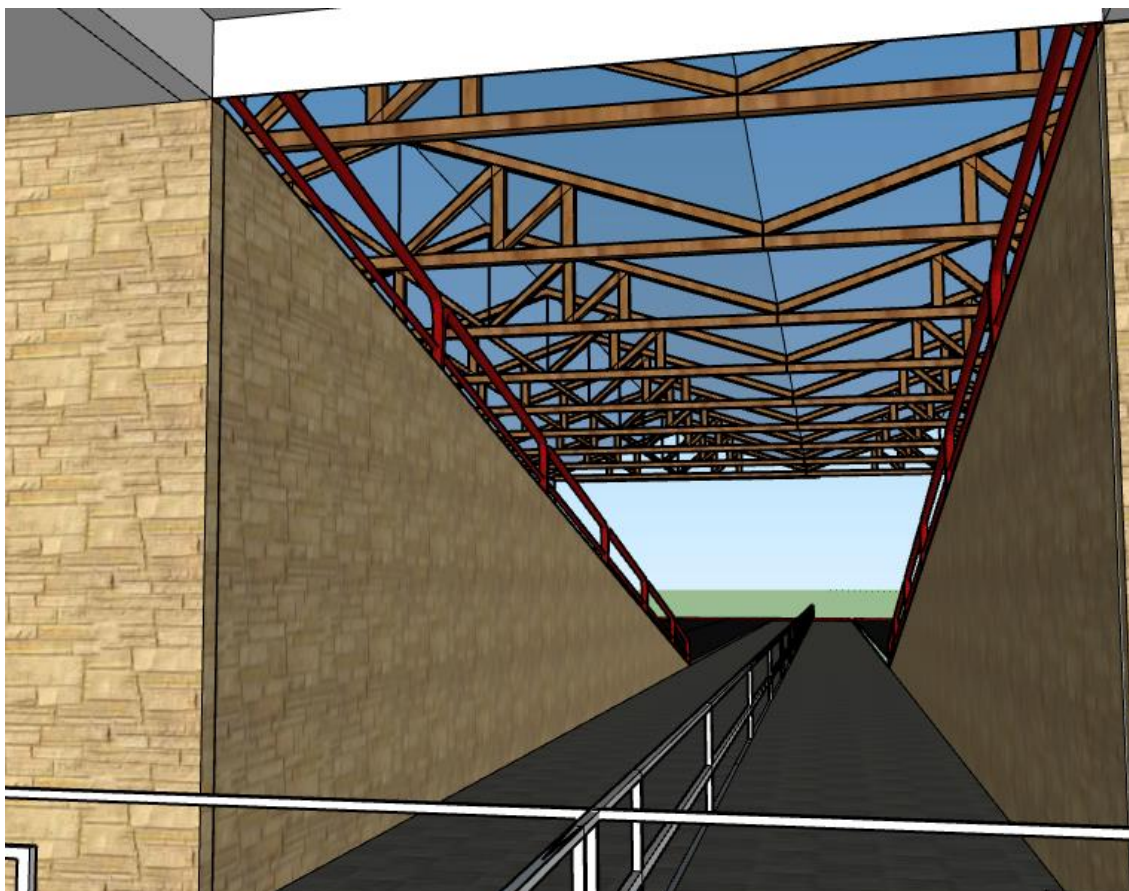
Il·lustració 6-5. Model edifici lateral



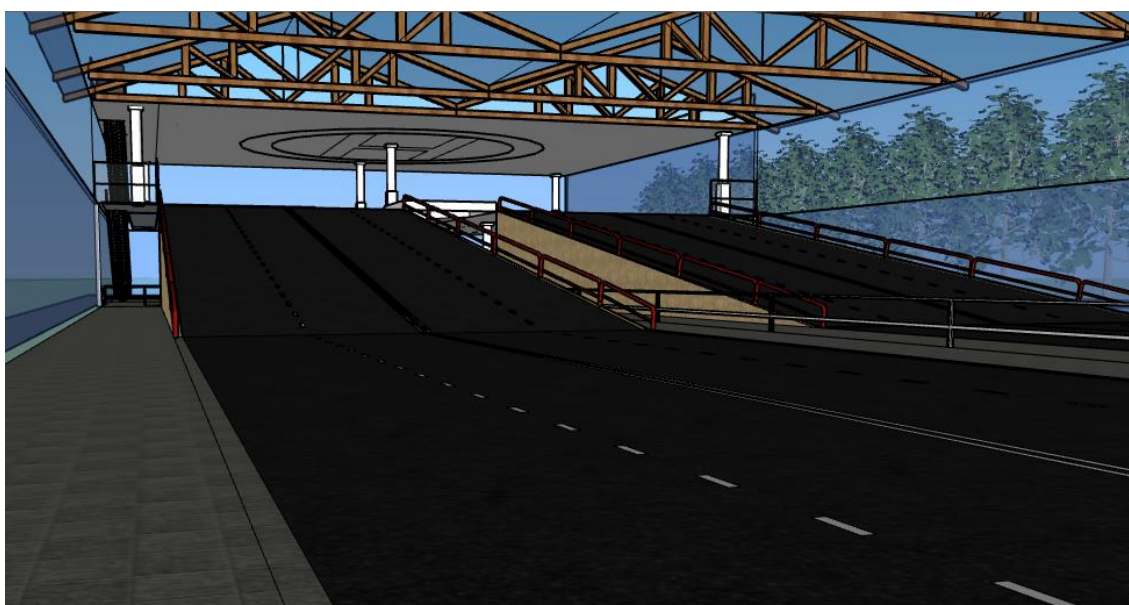
Il·lustració 6-6. Interior edifici "Hall"



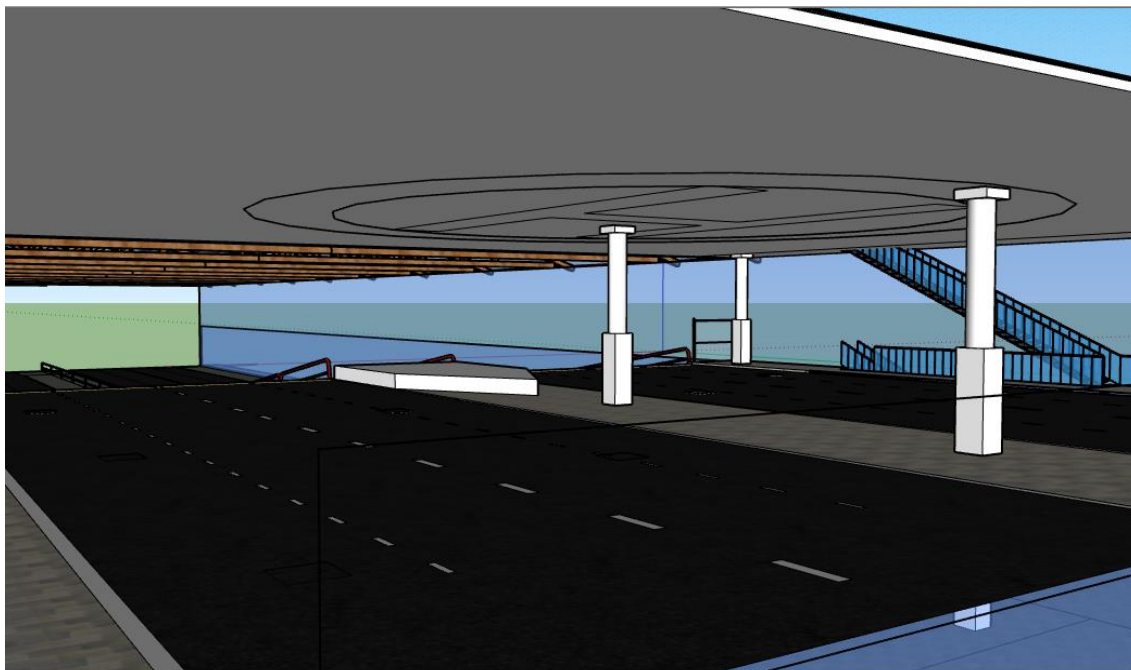
Il·lustració 6-7. Interior edifici carril B4



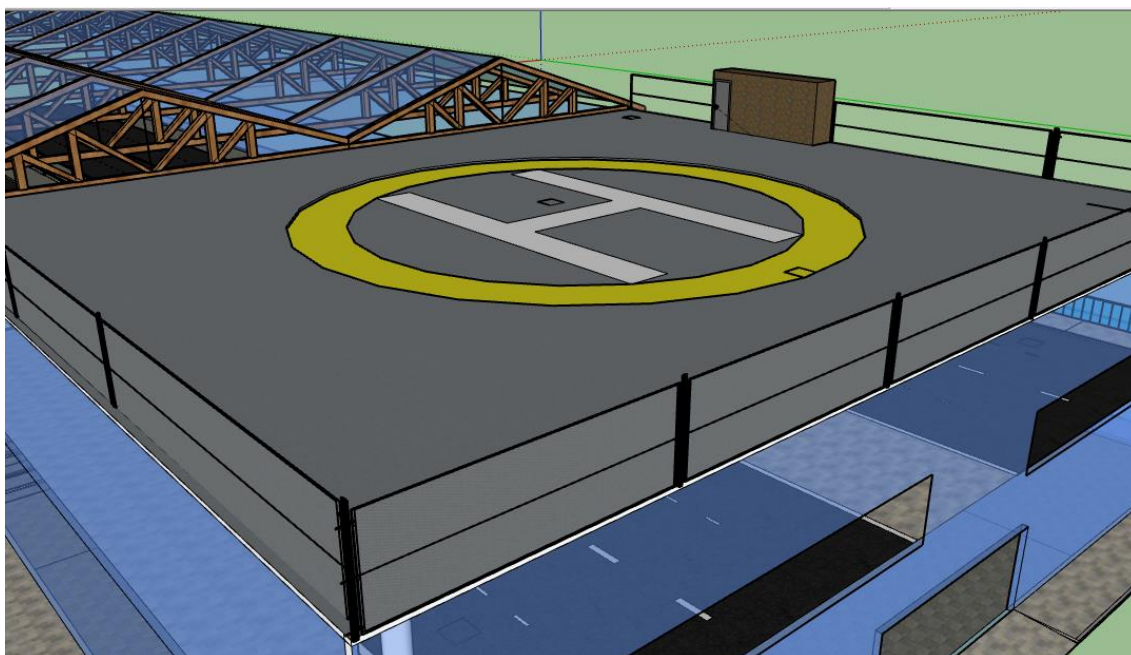
Il·lustració 6-8. Interior edifici carrils B2 i B3




Il·lustració 6-9. Interior edifici zona carrega de passatgers



Il·lustració 6-10. Interior edifici zona pre Batch taxis.



Il·lustració 6-11. Exterior edifici en perspectiva


 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

7. Simulació amb Arena


Com s'ha explicat a l'apartat d'eines (punt 3.1.2. Arena), l'Arena és un software que s'utilitzarà per obtenir una primera fonejada de dades a partir d'una simulació bàsica, és a dir, només amb les dades proporcionades per realitzar l'estudi. Aquesta primera remesa de dades s'utilitzaran com a referència per quan es realitzin les simulacions amb FlexSim poder jugar amb els paràmetres d'aquest segon software, amb la finalitat d'obtenir uns resultats propers als obtinguts amb Arena.

A continuació s'introduiran els blocs que es faran servir amb Arena per tal d'arribar a una major comprensió de l'esquema realitzat en els següents punts.

- **Mòdul Crate:** Aquest mòdul representa l'arribada d'entitats al model de simulació. Les entitats es creen usant una planificació o basant-se en el temps entre arribades. En aquest mòdul s'especifica també el tipus d'entitat que es tracta. Una vegada s'inclou en el model la dreta del símbol apareix sota una línia el nombre d'entitats creades.
- **Mòdul Dispose:** Aquest mòdul representa el punt final d'entitats en un model de simulació. Les estadístiques de l'entitat es registraran abans que l'entitat s'elimini del model.
- **Mòdul Process:** Aquest mòdul correspon a la principal forma de processament en simulació. Es disposa d'opcions per ocupar i alliberar un recurs. Addicionalment, existeix l'opció d'especificar un "sub model" i especificar jeràrquicament la lògica definida per l'usuari. El temps de procés se li afegeix a l'entitat i es pot considerar com a valor afegit, valor no-afegit, transferència, espera o uns altres. Una vegada s'introdueix en el model, apareix un nombre en la part inferior del símbol que indica el nombre d'entitats que actualment estan processant-se.
- **Mòdul Decide:** Aquest mòdul permet als processos prendre decisions en el sistema. Inclou l'opció de prendre decisions basant-se en una o més condicions (per exemple, si el tipus de l'entitat és Gold Car) o basant-se en una o més probabilitats (per exemple, 75% veritable, 25% fals). Les condicions es poden basar en valors d'atributs (per exemple, prioritat), valors de variables (per exemple, nombre de rebutjats), el tipus d'entitat o una expressió.
- **Mòdul Batch:** Aquest mòdul funciona com un mecanisme d'agrupament dins del model de simulació. Els lots poden estar agrupats permanent o temporalment.

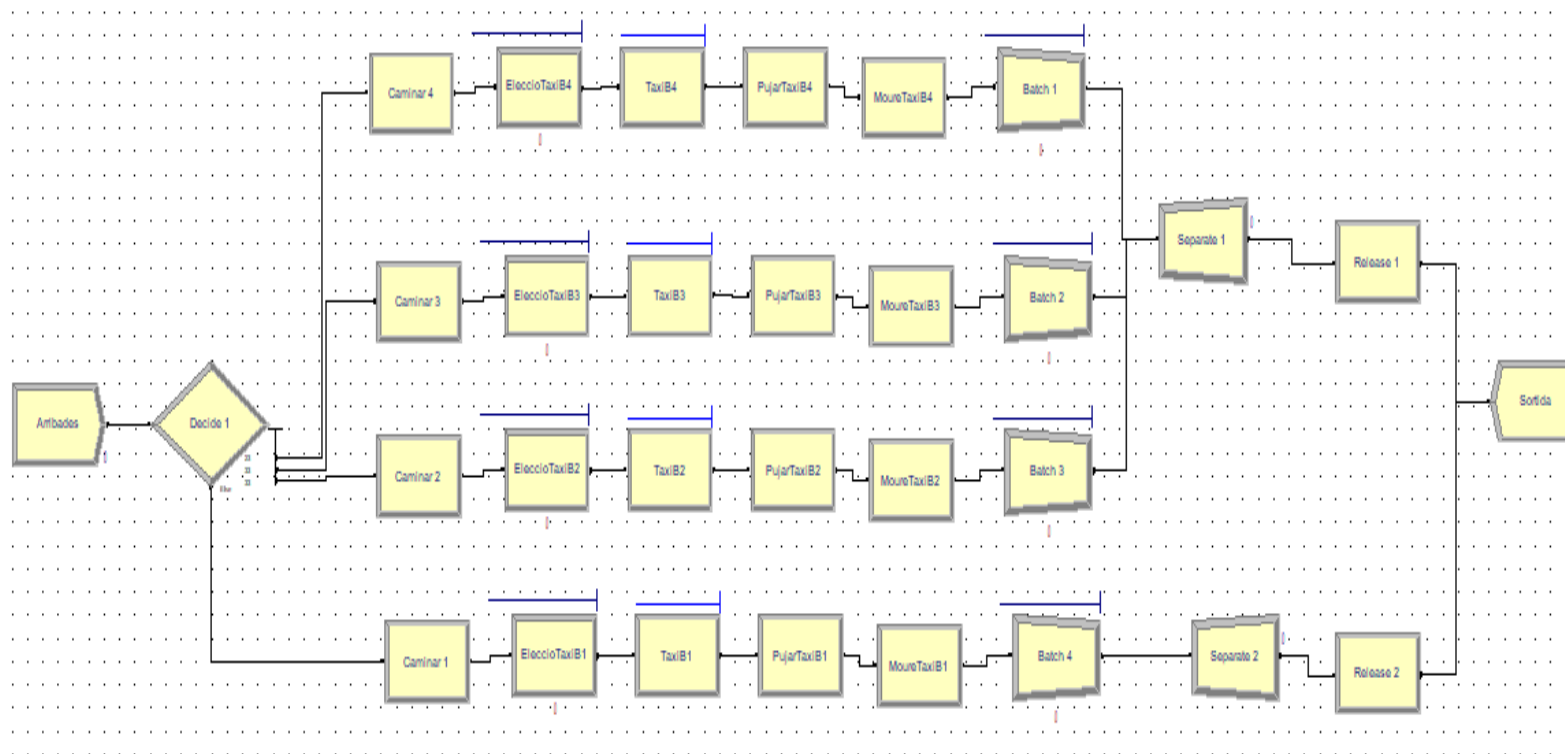
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

- Mòdul Separate: Aquest mòdul es pot usar per replicar l'entitat entrant en múltiples entitats o per dividir una entitat prèviament agrupada. S'especifiquen també les regles d'assignació d'atributs per a les entitats membre.
- Mòdul Resource: Aquest mòdul de dades defineix els recursos en un sistema de simulació, incloent informació de costos i disponibilitat del recurs. Els recursos poden tenir una capacitat fixa que no varia durant la simulació o poden operar basant-se en una planificació. Les fallades i estats del recurs es poden definir també en aquest mòdul.
- Mòdul Schedule: Aquest mòdul de dades es pot usar en conjunció amb el mòdul “Resource” per definir una operació de planificació per a un recurs o amb el mòdul “Create” per definir una planificació d'arribada. A més, una planificació es pot usar i referir a factors de retards de temps basats en el temps de simulació.
- Mòdul Delay: Aquest mòdul s'utilitza per poder representar temps que es gasta realitzant una acció concreta.
- Mòdul Sieze: El següent mòdul es utilitza per captar un recurs o més
- Mòdul Release: Aquest mòdul treballa amb el “Sieze”, un cop es deixa de necessitar un recurs o més, Release allibera el recurs per que aquest pugui ser cridat per un altre esdeveniment.


 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

7.1. Esquema de simulació amb Arena

A continuació es mostra l'esquema d'arribada i recollida de passatgers a l'estació de taxis realitzat amb l'eina de simulació Arena, i s'explicarà el seu funcionament pas a pas:



Il·lustració 7-1 Esquema de simulació Arena.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019


Primerament amb el bloc anomenat “Arribades” (amb la funció de mòdul “Create”) es determina el tipus d’input d’entitats que entraran al sistema i el horari d’arribades que aquestes seguiran a mesura que passi cada hora, des de les 7:00 fins les 11:00, hora de fi de simulació. Tot seguit amb el mòdul “Decide” es separen les entitats segons el tan per cent mitjà que representen en el sistema estudiat prèviament. Els passatgers anomenats tipus B4 ocupen el 23% d’arribades, els B2 i B3 són el 33% cadascun, i el 10% restant representen el grup de viatgers B1.

Un cop classificat cada tipus de passatger s’obren quatre ramificacions a l’esquema, una per cada grup de passatgers, però que funcionen els quatre de la mateixa manera. El primer bloc trobat a les ramificacions és un “Delay” anomenat “ Caminar 1,2,3 o 4”, amb la funció de endarrerir 60 segons el moviment de les entitats pel sistema com a temps mitjà representatiu del temps que passen caminant els passatger per l’estació. Tot seguit l’entitat arriba a un mòdul “Proces” anomenat “Elecció taxi B1, 2, 3 o 4”. La funció d’aquest mòdul és la de capturar un recurs (el treballador que indicarà a quin taxi ha de dirigir-se cada viatger), afegir un temps de procés de 10 segons referit al temps que triga el treballador a seleccionar un taxi per al passatger, i finalment alliberar aquest recurs per a que pugui ser capturat per la següent entitat entrant.

Al sortir de la elecció de taxi s’arriba a un bloc “Size” anomenat “TaxiB1, 2, 3 o 4” per capturar un taxi disponible en aquesta ramificació concreta. Cada ramificació consta de 18 taxis com a recurs propi. A continuació l’entitat es troba amb dos mòduls “Delay” seguits, “PujarTaxi B1, 2, 3 o 4” i “MoureTaxi B1, 2, 3 o 4”, els quals el primer disposa d’una funció logarítmica per afegir una rang de valors de temps que es triga a pujar al taxi, i el segon afegeix un temps d’enrarament de 10 segons per a cada entitat.

Com a últim bloc de les ramificacions es pot trobar un “Batch” amb la funció d’acumular passatgers en grups de 18 abans de fer-los passar al següent bloc conjuntament.

Finalment les tres ramificacions amb el mateix tipus e taxi, el taxi de tipus mitjà, i la quarta ramificació amb un tipus de taxi gran, evoquen a un bloc “Separate” per separar es agrupacions de 18 passatger que s’ha fet anteriorment, tot seguit a un últim bloc “Release” on s’alliberaran tots els taxis demanats per les entitats, abans d’arribar al final de recorregut on el mòdul “Dispose” anomenar “Sortida” farà que les entitats finalitzin el seu recorregut pel sistema.

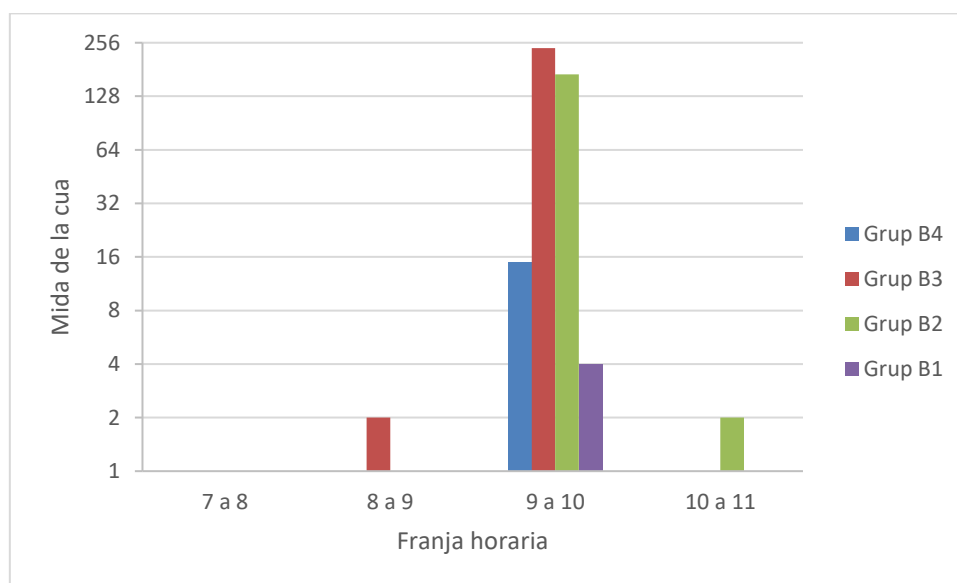
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

7.2. Resultats simulació amb Arena

Un cop haver realitzat les simulacions pertinents amb el software Arena s'han extret uns resultats dels paràmetres que s'han cregut més representatius a l'hora de realitzar una simulació d'una estació de taxis.

7.2.1. Cues

Un paràmetre clau a l'hora de realitzar simulacions de algun procés que sigui repetitiu amb un mateix recurs o espai, és la cua que es pot acumular per realitzar dit procés o activitat. Abans, però, cal recordar que el flux d'arribades en referència a persones es divideix en el 23% per els passatgers del grup B4, el 33% per al B3 i B2, i el 11% restant per al B1. A continuació es mostrarà una figura que farà referència a la grandària de les cues formades al mòdul "EleccióTaxi". Aquest mòdul simula el procés del passatger al arribar a la zona on un treballador de la estació li indica quin taxi haurà de dirigir-se.



Il·lustració 7-2. Grandària màxima de les cues a cada període

Com es pot veure a la figura 7-2, el grup de passatgers amb major percentatge són els que formen majors cues respecte dels altres grups amb condicions d'entorn de simulació idèntiques per a tots els grups pertinents, 1 operari per a cada fila, mateix número de taxis destinats per a cada grup, i mateix temps de treball de l'operari, 5 segons.

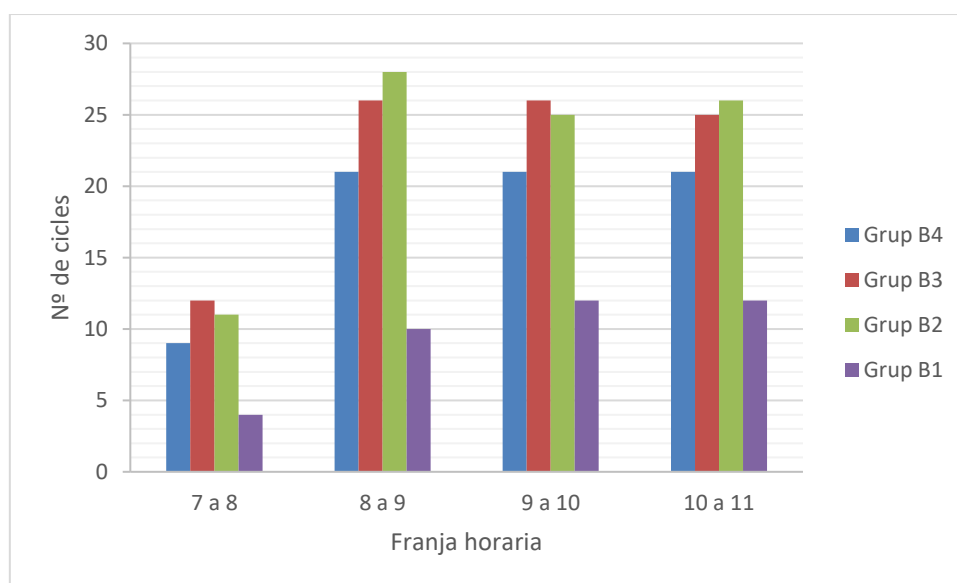
Un altre apreciació que es pot extreure de la figura 7-2 és que les cues creixen de manera considerable a la franja horària de 9 a 10 del matí per als grups més nombrosos de passatgers, B2 i B3. Tant el grup B2 com el B3 presenten un número de viatgers aproximat de 970 de 9 a 10 i formen una cua de 230 i 170 passatgers respectivament. Pel



que fa a el segon grup més nombrós, B4, presenta una número de viatgers de 676 a la mateixa franja horària i forma una cua de 4. Si restem 970 del grup B2 als 676 del B4, ens queda una diferencia de 294 passatgers entre els dos grups de 9 a 10 del matí. Aquesta dada vol dir que hi ha un punt entre els 294 passatgers de diferencia en que el sistema format no pot absorbir el nombre d'arribades i es forma un coll d'ampolla que provoca un augment exponencial de la cua. A efectes de la realitat, voldria dir que el treballador no donaria abast a poder cobrir tota la demanda en aquesta hora i per tant es podria plantejar el reforçar amb un segon operari aquests punts més conflictius durant aquest període.


7.2.2. Número de cycles

En aquest projectes es considerarà que es realitzarà un cycle complet quan tot un grup de 18 taxis s'hagi omplert i sortit del sistema. En la següent figura es mostrarà el número de cycles completats a cada període per cada grup:



Il·lustració 7-3. Número de cycles a cada període.

De mateixa manera que passa amb les cues formades pel sistema, el número de cycles es veu incrementat en el cas dels grups amb major número de passatgers. A primera vista pot semblar estrany que de 10 a 11, amb una entrada de 838 passatgers totals, es presenti un número de cycles molt parell al format de 9 a 10, amb 2939 passatgers totals. No obstant, si es té en compte el número de civils que han quedat acumulat a les cues de la hora anterior i que passarà a formar part dels cycles de la hora posterior, es pot explicar aquest fenomen.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

Un altre dada que es pot extreure gràcies a la figura 7-3 i que ha quedat sense definir anteriorment és, que al comprovar que hi ha un similar número de cicles tant per al període de 8 a 9 com per al de 9 a 10 (que forma unes cues tant grans), es pot veure que el número màxim de passatgers que pot absorbir un sistema per hora sense que es formin colls d'ampolla és molt proper a 620.

7.2.3. Temps de simulació


Unes dades molts significatives per poder entendre la simulació y veure si els resultats són fiables, és veure els temps que apareixen en la simulació tant de recorregut, com d'espera, com veure quina estació concentra una major quantitat de minuts parada.

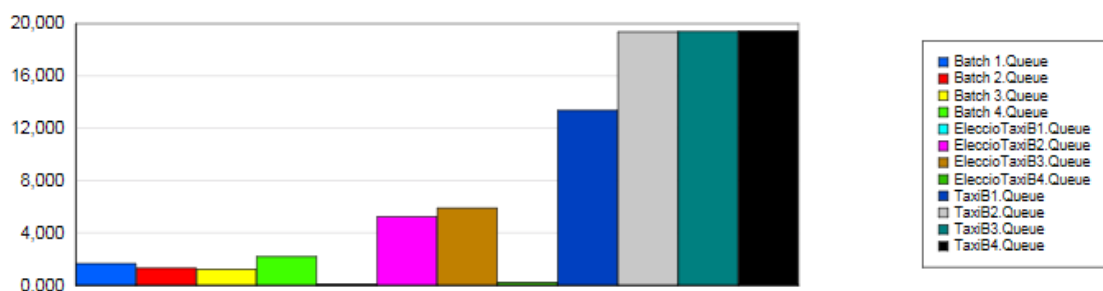
Taula 7-1. Temps de recorregut i espera.

Resultats simulació	Mitjà	Màxim	Mínim
Temps d'espera (min)	12.6	26.68	0
Temps de recorregut (min)	15.9	30	1.79

A la taula 7-1 a primera vista es pot apreciar temps mitjans i màxims molt elevats, i definitivament ho són, però si s'analitzen mes detingudament i amb l'ajuda de les il·lustració 7-2 de cues es poden extreure unes conclusions diferents. Tenint en consideració la il·lustració 7-2, la qual es veu com no apareixen cues o són insignificants en les 2 primeres hores de simulació i en la última, vol dir que els temps de recorregut en aquests períodes seran de l'ordre de 2 minuts aproximadament i que les dades extretes per grans temps de cues fan referencia a l'horari de 9:00 a 10:00. No obstant, amb aquesta afirmació cal esmentar que les dades utilitzades per fer la il·lustració 7-2 van ser extretes a meitat de la hora, quan el sistema s'havia estabilitzat, la qual cosa vol dir que en l'horari de 10:00 a 11:00 és erroni dir que no hi van haver cues, realment les cues acumulades durant l'hora anterior es van anar reduint fins a desaparèixer en aquesta última hora, però si que hi van haver cues. Amb aquesta apreciació es pot concloure que a partir de les 9 del matí les cues juntament amb el temps de recorregut van créixer de manera lineal i pronunciada arribant a un pic de 26 minuts al final d'aquesta hora, i a partir de les 10, les cues i el temps de recorregut es van anar reduint progressivament fins a desaparèixer i el temps de recorregut estabilitzar-se en 2 minuts. Dit això, el valor de temps mitjà és poc representatiu.

Un cop finalitzat la anàlisi del temps d'espera i recorregut, es adient veure a quines estacions s'acumulen majors temps per veure els colls d'ampolla i poder millorar el sistema en un futur atacant-los.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019



Il·lustració 7-4. Colls d'ampolla.


La il·lustració 7-4 és la perfecte evidència per veure com les majors concentracions de cues es donen en la estacions de accedir al taxi per a cada secció, mostrant com cada una d'elles supera el 15% (75% com a suma total) del temps total d'espera de les entitats, evidenciant d'aquesta manera que els colls d'ampolla en la simulació es troben en aquestes estacions.

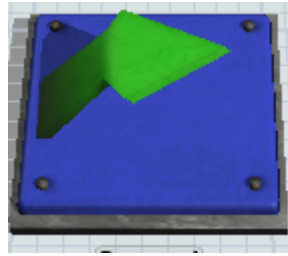
8. Simulació amb FlexSim

Un cop realitzades les simulacions corresponents amb el software Arena, es moment de passar a realitzar les simulacions amb el FlexSim. Com s'ha comentat en l'apartat d'eines (3.1.1 FlexSim), la simulació amb FlexSim és el cos d'aquest projecte, ja que a nivell comercial o de junta directiva, una simulació visual en 3D és molt més representativa que una numèrica com es fa amb l'Arena. De tota manera un cop realitzades les simulacions pertinents amb el FlexSim s'extrauran els resultats obtinguts i es compararan amb els de l'Arena.

A continuació s'introduiran els blocs que es faran servir amb FlexSim per tal d'arribar a una major comprensió de l'esquema realitzat en els següents punts.

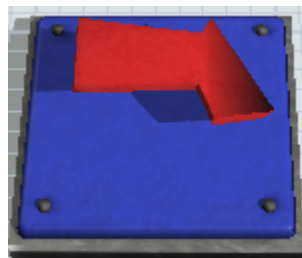
- **Source:** El mòdul "Source" és utilitzat com a font de creació dels objectes que fluïran per el sistema. En el cas d'aquest projecte els objectes creats seran les persones y els taxis. Al igual que al "Create" de Arena, en aquí es pot programar un horari d'arribades d'objectes al sistema.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019



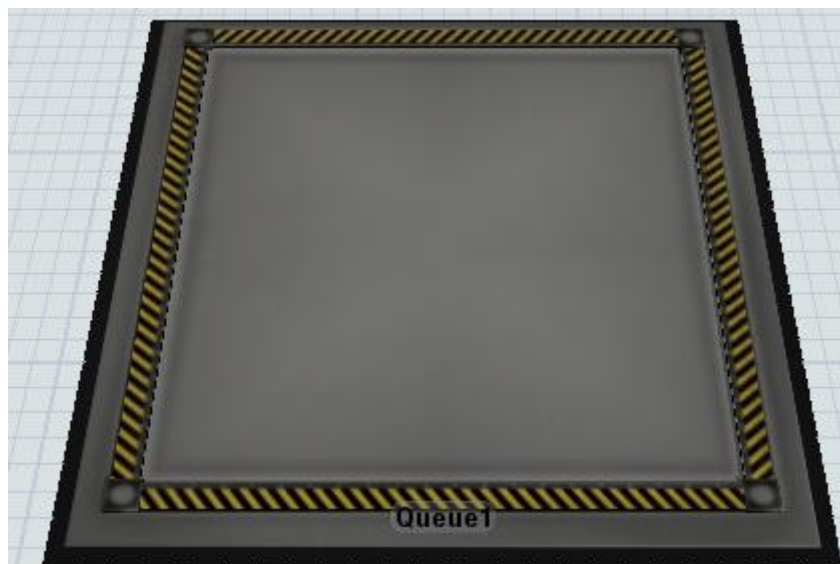
Il·lustració 8-1. Source

- Sink: Aquest mòdul representa el punt final d'entitats en un model de simulació. Les estadístiques de l'entitat es registraran abans que l'entitat s'elimini del model.



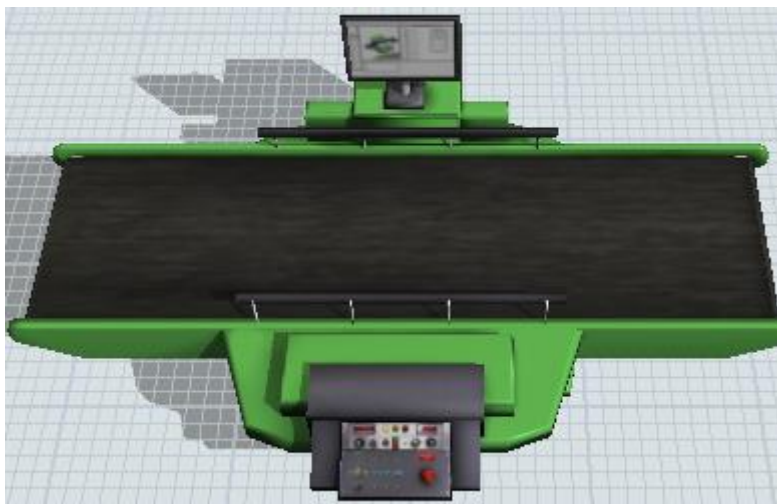
Il·lustració 8-2. Sink

- Queue: Aquest mòdul és l'equivalent a les cues creades en les xarxes de Petri. Serveixen per acumular entitats abans de que aquestes realitzin una activitat posterior, en el cas que l'activitat no es pugui realitzar, ja sigui per disponibilitat o qualsevol condició que se li atribueixi.



Il·lustració 8-3. Queue

- Process: En aquest mòdul com el seu propi nom indica es simula un procés en concret al entrar una entitat del sistema. Aquest procés pot ser regulat amb temps i també se li pot assignar un recurs en cas de que el requereixi.




Il·lustració 8-4. Process

- Combine: Aquest mòdul es fa servir per agrupar diferents entitats que n'entren en una de sola. S'utilitzarà per simular l'entrada dels passatgers al taxi.



Il·lustració 8-5. Combine.

- Network node: Al unir els diferents processos, cues, combines... aquestes unions es realitzen en línia recta des de el primer mòdul fins al segon. En el cas d'aquest projecte s'ha creat un edifici amb els seus elements interiors corresponents, per tant es necessari poder guiar el flux de les entitats per a que interaccionin amb l'entorn creat. Els network node no són més que punts per on han de passar les entitats per arribar d'un mòdul a un altre.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

8.1. Esquema de simulació amb FlexSim

8.2. Experiència amb FlexSim


Aquest punt ha sigut creat per poder exposar l'experiència que s'ha viscut amb el software de simulació FlexSim a lo llarg del projecte.

Primerament caldria dir que a l'inici del projecte el programa FlexSim era un eina totalment desconeguda per mi, la qual me la va presentar el meu tutor de projecte. El fet de ser una eina totalment nova va afegir un nou grau de dificultat al projecte, ja que havia d'aprendre a fer-lo servir i quins programes de disseny i formats eren compatibles.

FlexSim es pot considerar un programa de simulació relativament nou (va sortir al mercat a l'any 2003), i a més, al disposar d'una versió gratuïta tant limitada (30 objectes de simulació com a límit) han fet que el període d'aprenentatge sigues molt més costós i extens, ja que la informació i les guies d'aprenentatge son molt escasses a internet, a més de que no es un software intuïtiu com pot ser el SketchUp, el qual també vaig haver de aprendre a fer servir des de zero. Per tant, el meu aprenentatge s'ha basat en prova i error amb l'ajut de petites i precàries guies trobades a la xarxa.

Un cop haver aconseguit uns coneixements mínims per poder realitzar la simulació pertinent al projecte vaig pagar 12 USD per poder obtenir una llicència disponible per a cada estudiant de la UPC, aquesta llicència m'ampliava el número màxim d'objectes disponibles de 30 a 100. Aquesta ampliació pot fer pensar a priori que és suficient per poder realitzar el projecte, i per una banda si que és possible realitzar-lo, però FlexSim és un software dissenyat per a entorns industrials, fent que sigui més difícil poder realitzar una simulació amb exactitud de l'entorn que es demana i es requereixin una major quantitat d'objectes de simulació.

Davant d'aquest problema vaig comentar al meu tutor si es podia fer res per obtenir una llicència amb major capacitat d'objectes de simulació. El tutor va contactar amb els responsables de gestionar les llicències per la UPC per veure si hi havia solució, amb el resultat de que afirmativament la UPC en disposa de 60 llicències a l'any de la versió completa del programa. Es va demanar si es podia aconseguir alguna llicència, però no va ser possible aconseguir-la. Aquest fet va condicionar gran part el treball ja que per realitzar el model de la manera més fidel a la realitat es necessitaven una major quantitat d'objectes, per tant es va haver de replantejar el model i la utilització dels objectes que el conformaven. Amb el nou plantejament els resultats de simulació serien iguals que amb el antic, però en quant a la performance visual, aquí si que es veuria afectat amb el canvi, fent que la nova performance no sigui tant realista.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

Pel que fa al tema de la importació del model dissenyat amb el SketchUp van haver una gran quantitat de problemes, ja que com s'ha comentat anteriorment es ben reduïda la font de informació de funcionament del programa. Finalment es van poder solucionar gracies a poder importar el model en format "spk".

Per a cada una de les 4 zones de encotxar passatgers (B1, B2, B3 i B4) es van confeccionar el següent esquema dividit en dos seccions passatgers i cotxes, on finalment convergeixen en una mateixa línia:

8.2.1. Passatgers

Just a l'entrada del edifici hi ha col·locat un "source" on es crearan les persones seguint un horari de creació determinat a cada hora des de les 7:00 fins les 11:00 que finalitza la simulació. Un cop entrat la persona al sistema, aquesta es dirigeix cap a la zona d'encotxar determinada seguint un recorregut establert a partir de la connexió de diferents cues amb una capacitat de 1 per a que simplement passin els objectes de llarg sense estacionar-se. El fet de que s'hagin utilitzat cues en lloc de nodes es per que aquest segons donaven problemes i ocupaven el mateix espai en el número d'objectes utilitzats per la simulació, per tant amb les cues s'obtenia el mateix resultat, però amb major senzillesa.



Il·lustració 8-1. Entrada edifici amb sources de creació de passatgers.

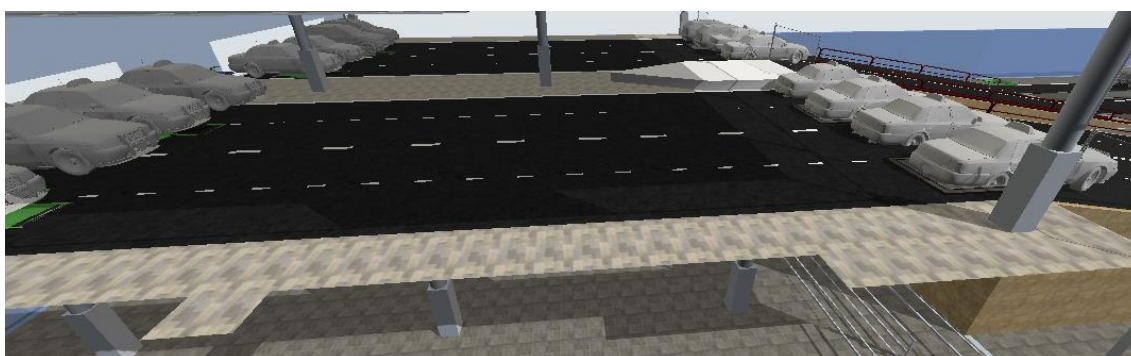
Just a la zona on s'espera el operari i es simula la assignació de vehicles, hi ha una cua amb capacitat molt gran per a que pugui absorbir grans quantitats de objectes en espera. Aquesta cua esta connectada a un objecte "process" amb una capacitat de fins a 18 persones a alhora programat amb la funció de temps característica de cada grup de persones, i així simulant el temps requerit per encotxar. Un cop les persones surten de l'objecte "process", aquestes es converteixen en invisibles (simulant que ja estan dins dels vehicles) al eliminar les seves textures i es dirigeixen a la cua de encotxar on després de que s'hagin acumulat les 18 persones més els 9 taxis sortiran dels sistema.



Il·lustració 8-2. Lateral edifici amb cues i processadors.

8.2.2. Taxis

Els taxis al igual que les persones son creats amb un “source” que esta posicionat a la primera planta. En el recorregut dels taxis hi ha a la sortida del “source” un “process” amb una capacitat màxima de processar 1 taxis alhora que afegirà un petit retràs per donar temps a que els taxis arribin a la cua de encotxar i al arribar a una quantitat de 9, deixin de passar mes taxis. La configuració descrita s’ha creat d’aquesta manera per poder seguir un efecte en cascada, és a dir, el “source” crearà taxis si hi ha espai al “porcess”, i aquest segon deixarà sortir objectes en el cas de que la cua de la zona de collir passatgers reconegui que estem a la fase de carga de vehicles i deixi passar cotxes fins arribar a la quantitat de 9.



Il·lustració 8-3. P1 edifici entrada de taxis amb “sources”, cues i processadors.

A cada zona de collida de passatgers hi ha d’haver 18 taxis en comptes de 9 ja que cada zona disposa de dos carrils de 9 cadascun. No obstant, només s’ha parlat de un carril amb els seus 9 respectius taxis. Això es degut a que quan es crea els taxis, es crea un objecte format per dos taxis en paral·lel fent que nomes al interaccionar un objecte visualment es veuran 2 taxis, com un mirall, un es comportarà de la mateixa manera que el segon.



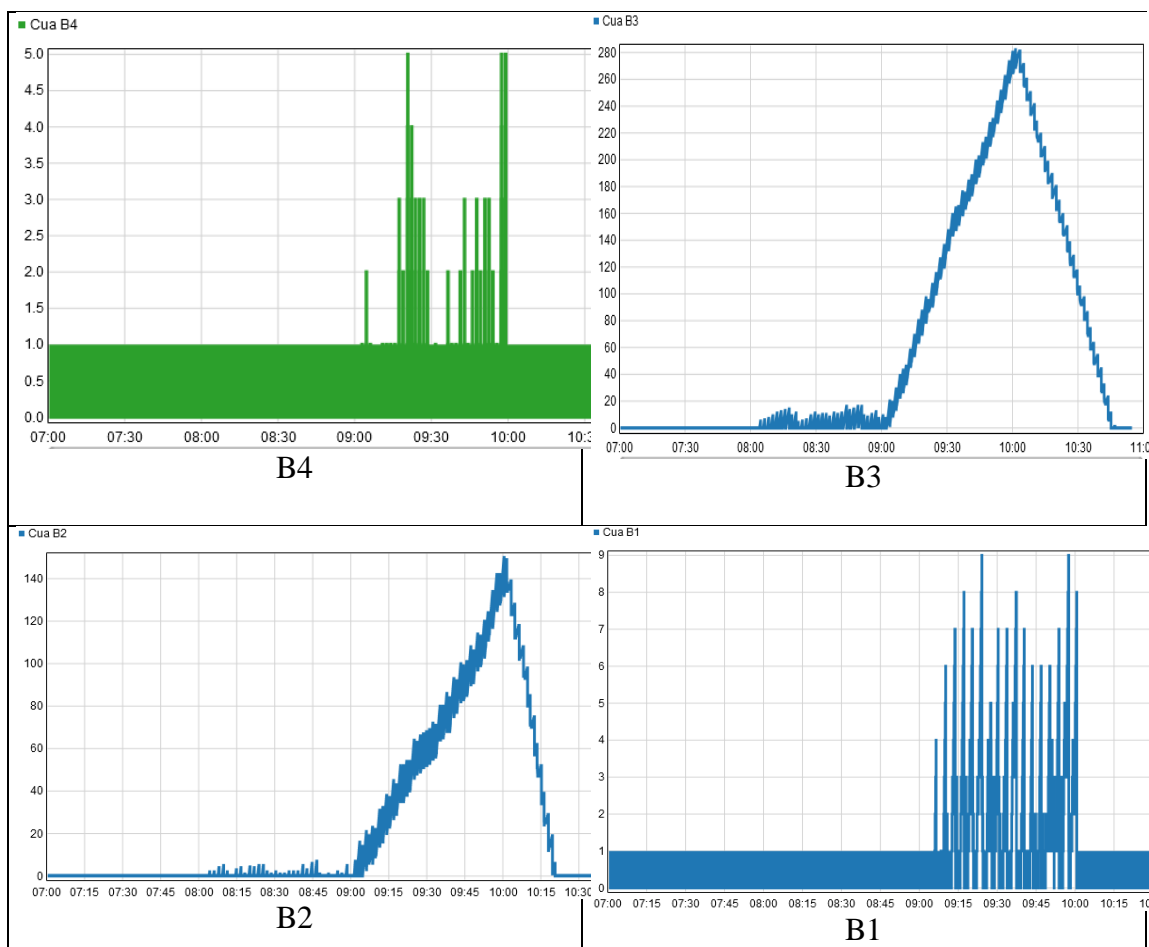
Il·lustració 8-4. Sortida edifici amb llargues cues i sinks.

8.3. Resultats simulació amb Flexsim

Un cop creat l'escenari de simulació es va caracteritzar cada objecte de la simulació amb les des de obtingudes de l'estudi inicial, temps d'encotjar, horaris d'arribades, distribucions de passatgers... La primera fornada de resultats obtinguts van ser molt dispers en comparació amb els aconseguits per l'Arena (els quals es consideren com a bons i com a model a seguir). Les simulacions amb Flexim mostraven que les seccions B2 i B3 no eren capaces d'absorbir la demanda de passatgers produïda a de 8:00 a 9:00 del matí (la segona hora a major població), produint cues de fins a 60 persones, contràriament a l'Arena on no solament les absorbien sense problema, sinó que presentaven una cua màxima de 3 persones. Acte seguit es van ajustar els paràmetres per tal d'afinar més els resultats i va mostrar-se una millora, però no suficient per considerar-se com a bona. Finalment, després de comprovar que hi havia malament configurat un paràmetre de la lògica de simulació, la qual cosa feia que es produïssin més cicles, però amb menys capacitat, fent que augmentessin els temps de cues, es va solucionar i es van obtenir resultats semblants als de l'Arena.

8.3.1. Cues


Al igual que s'ha realitzat amb l'Arena, amb Flexim també s'estudiaran les cues formades a cadascuna de les seccions de la simulació, amb la diferencia de ara poder-ho fer amb dades collides a cada segon per obtenir un nivell d'exactitud millor.



Il·lustració 8-5. Cues respecte el temps.

Primerament cal comentar que les cues s'han comportat d'una manera molt similar a la mostrada amb les extreïtes per l'Arena. Durant la primera hora de simulació les quatre seccions exhibeixen un mateix nivell de cues que oscil·la entre 1 i 0 degut a que el sistema abasteix amb taxis lliures més ràpidament que arriben persones. La cosa no canvia a la segona hora per a les seccions amb menor carrega d'entrades (B1 i B4), en canvi per a la B2 i B3 ja hi comencen a haver petites acumulacions de fins a 10 persones per cua, però res que no pugui segur absorbint el sistema. Em quant la simulació arriba a les 9:00 i augmenta en gran mesura el número d'entrades de passatgers, primerament es pot comprovar que les seccions 1 i 4 presenten cues de 5 a 9 entitats, però són capaces de seguir estables. Pel que fa a B3 i B2 el sistema es totalment incapaç d'absorbir tal demanda de taxis i les cues creixen pronunciadament fins a valors de 260 en el cas de B3 i 150 en el de B2. Arribades les 10:00 i havent disminuït les entrades a nivells de la primera hora, les cues baixen ràpidament i el sistema s'estabilitza en 1 persona per cua.

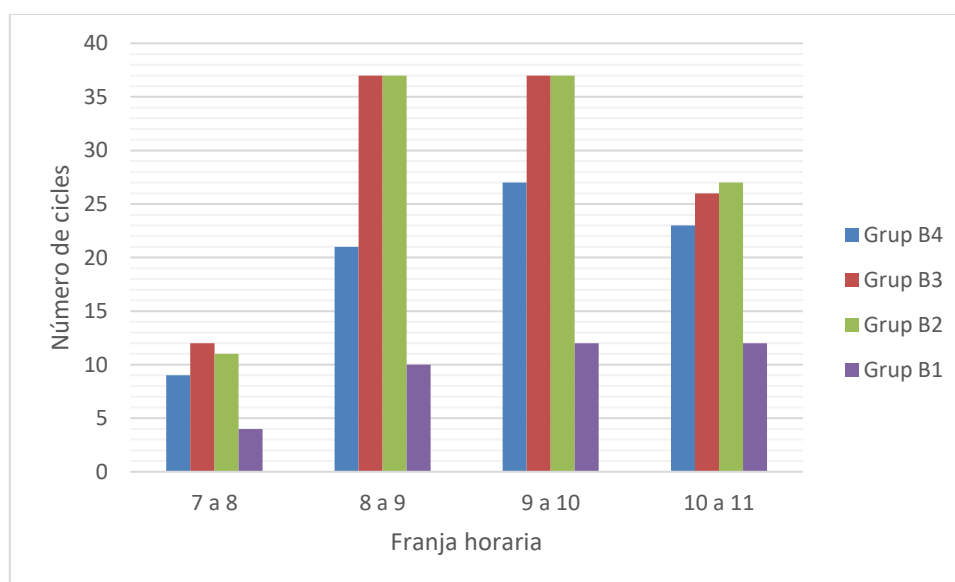
Aquest succés és el mateix que havia amb l'Arena, però aquí queda representat de manera més clara. No obstant, fixant el punt de mira de 9:00 a 10:00 i amb les seccions B2 i B3, les cues amb Flexsim són més molt més grans en comparació amb l'Arena tot hi tenir el

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

mateix número d'entrades de passatgers. Aquest fet es degut a la diferencia que els dos simuladors mostren a l'hora de abastir d'entrades d'entitats al sistema. Per una banda l'Arena mostra una corba d'entrades al sistema que creix progressivament fins arribar al estat estacionari, fent que sigui mes còmode adaptar-se al sistema a nous creixements de poblacions. Per altra banda, les entrades de Flexsim han sigut programades per entrar de manera constant des de que comença una hora fins el final d'aquesta.


8.3.2. Número de cicles

Al igual que amb els resultats de l'Arena es considerarà que es realitzarà un cicle complet quan tot un grup de 18 taxis s'hagi omplert amb els seus respectius passatgers i sortit del sistema. En la següent figura es mostrarà el número de cicles completats a cada període per cada grup:



Il·lustració 8-6. Número de cicles al Flexsim.

De mateixa manera que succeïa amb l'Arena es pot veure com tot hi obtenir valors mes grans respecte al número de cues entre les dos simulacions, els dos sistemes es comporten de la mateixa manera. Al augmentar la quantitat d'entrada de persones el número de cicles augmenta fins arribar al límit que pot absorbir cada secció del sistema. Aquest límit només es assolit amb les seccions B2 i B3 però. Gràcies a les dos il·lustracions anteriors 8-5 i 8-6, es pot apreciar que tant les seccions B2 com la B3 tenen el límit d'absorció de passatgers en 620 per hora aproximadament, ja que durant aquest període el sistema esta estable i al augmentar les entrades el sistema s'estabilitzen, però el número de cicles no augmenta.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

8.3.3. Temps de simulació

Unes dades molts significatives per poder entendre la simulació y veure si els resultats són fiables, és veure els temps que apareixen en la simulació tant de recorregut, com d'espera, com veure quina estació concentra una major quantitat de minuts parada:

Taula 8-1. Temps dels passatgers a la simulació.

Resultats simulació	Màxim	Mínim
Temps d'espera (min)	25.1	0
Temps de recorregut (min)	29.5	1.48


En aquest cas no s'han afegit els valors de temps mitjà de recorregut i d'espera per raons que s'han explicat amb els resultats de temps de simulació de l'Arena. No obstant, si es comparen els resultats amb els de l'Arena, tot hi ser molt semblants, a primera vista pot xocar que amb la simulació de Flexsim els temps siguin menors que amb les de l'altre simulador tot hi tenir aquí cues mes grans. Cal dir que les cues en efecte son majors en el Flexsim, però també és major el número de cicles que es realitzen i per tant la velocitat en que els passatgers es desplacen per les cues.

Un cop acabades i exposades les simulacions amb Flexim i Arena, i veient que tant l'un com l'altre no solament mostren resultats molt semblants, sinó que també obtenim comportaments idèntics a cada un dels períodes de simulació, es poden presentar una sèrie de primeres conclusions respecte els models creats. La primera es que els resultats són repetitius ja que les dades extretes per les simulacions es poden obtenir amb diferents execucions d'aquestes, i reproductius, diferents softwares de simulació es poden adaptar per crear un ambient similar que reproduueixi uns semblants resultats i comportaments.

8.3.4. Captura de la simulació amb Flexsim

Flexsim al ser un software destinat a la simulació amb entorns 3D, lògicament disposa d'un mòdul per a gravar les simulacions creades.

Com a pas previ a realitzar la gravació, es va haver d'adaptar el model prèviament per a que en el moment de la captura es veies tot net i sense objectes que molestessin. Aquest moviment de neteja va consistir en amagar tots els objectes que formen part de la simulació, ja siguin cues, processadors, entrades i sortides, per mitjà d'eliminar el seu aspecte físic. També es van ocultar les línies que mostraven les connexions entre els diferents objectes. I Finalment es va haver d'adaptar l'edifici eliminant el sostre y les

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

parts laterals per poder veure de més clarament el que succeeix dins del recinte durant la simulació.

A diferència de tots els aspectes ja comentats de Flexsim, el mòdul de captura d'imatges sí que és fàcil d'utilitzar i intuïtiu per aprendre des de zero. Primerament, es pot programar un circuit que realitzi la càmera durant la filmació de l'escena mitjançant "flypoints". Els "flypoints" són punts creats que guarden una posició de la càmera i un temps en reproducció en concret, per tant si es programen diferents punts es podrà veure com la càmera es desplaça des de l'un fins l'altre amb una velocitat determinada pel temps que se'ls hagi designat a cada un d'ells. Tot seguit es determina el temps d'inici i fi que es desitja que capti la gravació, es designa la posició inicial de la càmera i el format amb el que es vol gravar.


Durant el procés de creació del model i simulació la resolució gràfica que es mostrava era molt pobre, oferint nivells de resolució de 480p, uns nivells molts pobres pel que s'espera actualment, tot hi importar objectes com l'edifici creats amb textures planes, per a alta resolució. No obstant, els resultats obtinguts de la gravació van ser completament millors del que es podia esperar, ja que es pot capturar amb resolucions de fins 1080p. D'aquesta manera sí que es pot presentar una simulació per vendre un producte actualment.

8.3.5. Vídeo 3D amb la simulació de Flexsim

Malgrat el fet de no poder capturar vídeos en 360° amb l'equip disponible en Flexsim, sí que era possible realitzar una forma de vídeo alternativa en 3D de la simulació.

La tècnica proposada per la realització del vídeo va ser la del "Side by Side" que consisteix en realitzar dos captures amb una mateixa trajectòria i velocitat, però únicament separats per 5 centímetres en l'eix perpendicular al moviment de la càmera. D'aquesta manera es recrearà la visió de cadascun dels ulls d'una persona i al compilar els vídeos en les ulleres de realitat virtual, poder viure l'experiència amb una simulació en 3 dimensions.

Primerament es va considerar de fer un circuit circular per les dues càmeres per a que sigui més natural el moviment al realitzar girs en el circuit. No obstant, aquesta primera idea va haver de ser descartada per la configuració de Flexsim a l'hora de programar trajectòries. Com s'ha explicat a l'apartat anterior, els circuits de les càmeres es realitzen a partir de guardar punts amb un determinat valor en l'espai i el temps, i a partir d'aquí la càmera es mou de punt en punt a la velocitat que li pertorqui. Aquest tipus de configuració no permet realitzar trajectòries circulars ja que s'haurien de guardar

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

centenars de punts per poder recrear una trajectòria circular lo suficientment fluida com per a que no fos molest per a l'espectador. A més, els "frame per second" mínims necessaris per a que el moviment de la càmera no provoqui mareig a les persones que miren el vídeo amb les ulleres és de 90 i el Flexsim només arribava a 30, per lo que es van reduir el màxim possible els moviments de la càmera que no fossi en línia recta.

La alternativa trobada tot hi no ser la més elegant possible va ser la de capturar diferents fragments amb moviment recte o sense moviment i amb el programa Sony Vegas ajuntar cadascun dels fragments i coordinar els dos vídeos (un per ull) per a que estiguin sincronitzats.

Un cop creats els dos vídeos germans aquests dos s'han d'ajuntar en un de sol separat per dos pantalles per poder ser reproduït a les ulleres de realitat virtual. Per aquest últim pas existeix gran quantitat de programes no gratuïts que tenen la capacitat de fer-ho, no obstant, amb el codi que es mostrarà a continuació es pot fer de forma gratuïta amb un sistema Linux.

```
ffmpeg -i "LEFTYEYE.mp4" -i "RIGHTYEYE.mp4" -filter_complex
"pad=in_w*2:in_h, overlay=main_w/2:0, scale=in_w/2:in_h, scale=-1:1080"
-b:v 10000k -vcodec libx264 -an "3dSBS.mp4"
```

Il·lustració 8-7. Codi Linux per acoblar vídeos.


Un cop es configura aquest codi amb els dos arxius d'entrada i el nom de l'arxiu de sortida, subratllats en vermell a la imatge, amb la resolució desitjada (1080p), i la separació vertical de les dos imatges, s'executa el codi i obtenim el vídeo final.



Il·lustració 8-8. Vídeo "Side by Side" final.

9. Simulació amb Unity

Cap a finals del TFM, un cop es va saber que no es podria obtenir la llicència completa del FlexSim per poder realitzar la simulació amb les condicions necessàries i que per tant els resultats finals no serien els més òptims per la magnitud del projecte, es va proposar

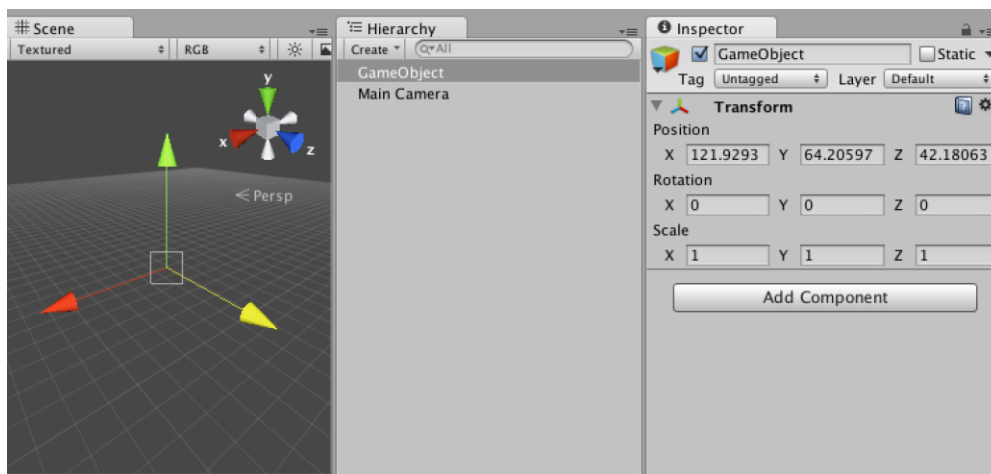
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

la idea de mirar si era possible realitzar la simulació del treball amb un motor gràfic de videojocs com és Unity. Amb una mica d'investigació, es va veure clarament que amb el software Unity es podia realitzar la simulació del projecte perfectament i amb la llicència gratuïta que ofereix el propi motor. Per lo qual es va donar el vist i blau per tirar endavant amb la simulació amb Unity amb la idea de arribar fins on doni temps, ja que l'objectiu principal del TFM era realitzar la simulació amb FlexSim i aquesta era un afegit a més a més.

9.1. Elements de Unity


A continuació s'introduiran i explicaran els elements de Unity utilitzats per a realitzar la simulació:

- **Gameobject:** Els “Gameobjects” són objectes fonamentals en Unity que representen personatges i l'escenari. Aquests no aconseguixen res per si mateixos però funcionen com a contenidores per a components, que implementen la veritable funcionalitat. És a dir, tots els objectes físics creats a Unity són en el fons “Gameobjects” als quals se'ls hi ha anat afegint complexitat en forma de nous complements i funcionalitats.

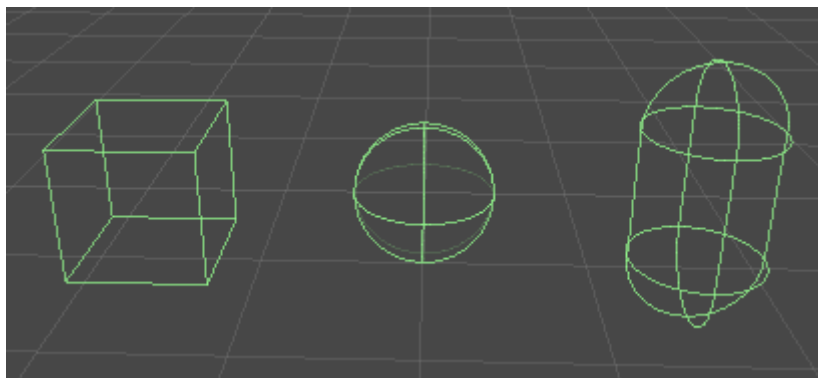


Il·lustració 9-1. GameObject.

- **Colliders:** Els components col·lisionadors defineixen la forma d'un objecte per als propòsits de col·lisions físiques. Un “collider”, el qual és invisible, necessita no estar amb la mateixa forma exacta que la forma de l'objecte i de fet, una aproximació sovint és més eficient i indistingible en el joc. Els col·lisionadors més simples (i menys intensius al processador) són els anomenats “primitive” (primitius) tipus de “collider”. En 3D, aquests són “Box Collider”, “Sphere Collider” i “Capsule Collider”. Els “colliders”, a més, poden ser utilitzats com a

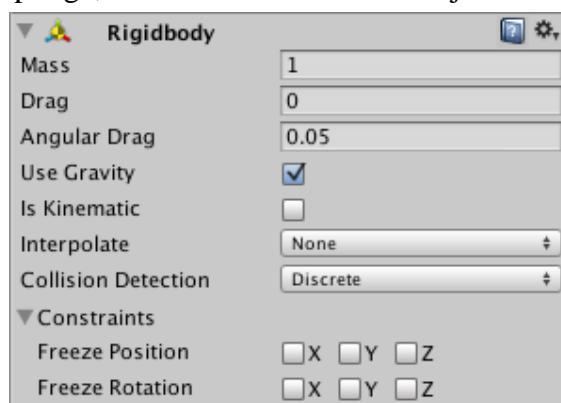
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

elements zonals sense component e interacció física, però sí amb interacció a forma de codi en quan aquests detecten algun tipus de interacció, i de fet, aquesta serà la major virtut de la que aquest treball s'aprofitarà.




Il·lustració 9-2. Tipus de collider.

- **Terrain:** El sistema del “terrain” de Unity li permet a vostè agregar vastos paisatges als seus jocs. En el temps d'execució, el renderitzat de terreny és altament optimitzat per a una eficiència de renderitzat mentre que en l'editor, una selecció d'eines està disponible per a crear terrenys de manera fàcil i ràpida. Aquesta secció explica les diverses opcions disponibles per a terrenys i com fer ús d'aquests.
- **Rigidbody:** Els “Rigidbody” li permet als seus “GameObjects” actuar sota el control de la física. El “Rigidbody” pot rebre força i moment per a fer que els seus objectes es moguin en una manera realista. Qualsevol “GameObject” ha de contenir un “Rigidbody” per a ser influenciat per gravetat, vaig actuar sota forces agregades via “scripting”, o interactuar amb altres objectes o col·lisionadors.



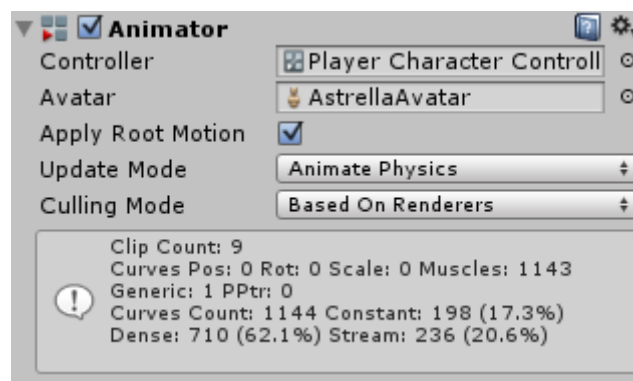
Il·lustració 9-3. Panell de configuració de un Rigidbody.

- **Waypoints:** Els “waypoints” no són elements propis del Unity, sinó que s'han de crear a partir de la combinació d'un “GameObject”, un col·lisionador sense interacció física i un “script” amb les coordenades del següent “waypoint”. La

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

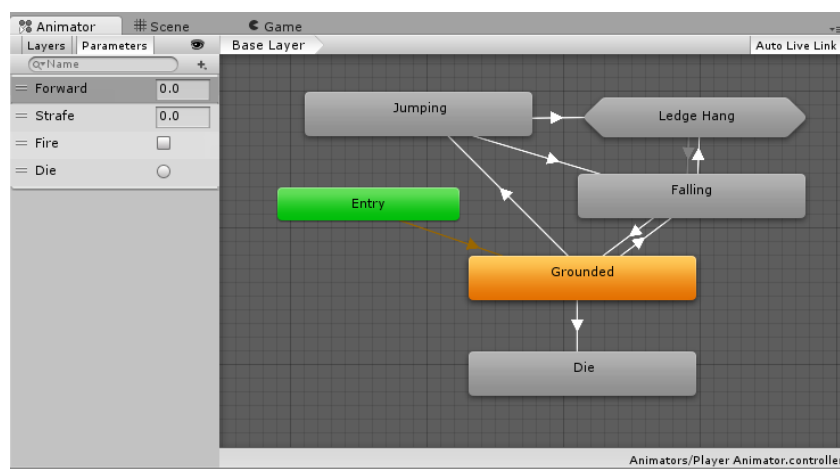
seva funció és la de donar a la persona que passi per un d'ells una nova direcció per així modificar la direcció de l'objecte.

- **Animator:** El component “Animator” és utilitzat per a assignar una animació a un “GameObject” en la seva escena. El component “Animator” requereix una referència a un “Animator Controller” que defineix quins clips d'animació utilitzar, i controla quan i com barrejar i fer una transició entre aquests.




Il·lustració 9-4. Panell de configuració d'un Animator.

- **Animator controller:** Un controlador d'animació li permet organitzar i mantenir un conjunt de clips d'animació i transicions d'animació associades per a un personatge o objecte. En la majoria dels casos, és normal tenir múltiples animacions i canviar entre elles quan es donen certes condicions de joc. Per exemple, pot canviar d'un Clip d'animació de passeig a un Clip d'animació de salt cada vegada que es pressiona la barra espaiadora. No obstant això, fins i tot si només tens un sol Clip d'animació, has de col·locar-lo en un Controlador “Animator” per a usar-lo en un “GameObject”.



Il·lustració 9-5. Esquema d'animacions d'un objecte.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

- Canvas: El component “Canvas” representa un espai abstracte en el qual el UI (interfície d’usuari) és posat i renderitzat. Tots els elements UI han de ser fills d’un “GameObject” que té un component “Canvas” adjunt. Quan es crea un objecte element UI del menú (GameObject > Create UI), un objecte “Canvas” serà creat automàticament si ja no hi ha un en l’escena.


Tot hi tenir Unity un gran número d’elements propis per facilitar la creació de videojocs, una part crucial és la programació mitjançant scripts dels seus elements per que aquests puguin interactuar. A continuació es mostrarà les comandes de codi pròpies de Unity més significatives utilitzades:

- OnEntryCollider(): Aquesta funció serveix per poder detectar el moment en que un “GameObject” entra en la zona d’un col·lisionador.
- OnExitCollider(): Aquesta funció serveix per poder detectar el moment en que un “GameObject” surt en la zona d’un col·lisionador.
- GameObject.GetComponent<>(): Mètode utilitzat per poder llegir o utilitzar components d’un altre “GameObject” o del seu script en el cas de que siguin declarats com objectes públics.
- Invoke(): Comanda utilitzada per crear un “GameObject” prefabricat en les coordenades desitjades.
- Destroy(): Comanda que destrueix qualsevol objecte, component o script que se li demani.
- Time.deltaTime: Aquesta comanda es utilitzada per fer servir les unitats de temps de segons en comptes de “frames” com es fa per defecte.
- Transform.Translate(): Mètode utilitzat per modificar la posició d’un element a partir d’una velocitat i direcció establertes.
- Animator.SetBool(): Comanda utilitzada per modificar un element booleà d’una animació concreta, així activant-la o desactivant-la.

9.2. Lògica de simulació

Primerament, per poder entendre la lògica de simulació, cal entendre com interaccionen o com es fa que interaccionin els objectes entre ells.

Quan es crea un objecte, aquest per si sol no té cap altra propietat que una posició en l’espai creat, una rotació i una escala. Tot seguit, en aquest objecte se li pot assignar una forma per tal de que sigui un objecte visible, i una animació en el cas de les persones, per exemple. Amb tot això l’objecte segueix sense tenir presència en l’entorn, es pot veure i el podem fer moure a partir de codi, però es incapaç de interaccionar amb l’entorn, per

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

aquest motiu a l'objecte se li ha de dotar amb dos elements a mes a mes. El primer d'ells és un "RigidBody", el qual dotarà de característiques físiques tals com el pes o la capacitat de detectar altres col·lisionadors i cossos. Finalment, com a segon element clau en la interacció tenim els col·lisionadors, els quals no son més que un embolcall tridimensional que permet a l'objecte interaccionar i xocar amb altres elements de l'entorn.

Un cop explicat això, els elements interaccionen entre ells quan s'ofereixen dos possibilitats. Una primera es dona al trobar-se en un mateix punt un "RigidBody" amb un col·lisionador de dos objectes diferents, o una segona manera quan dos col·lisionadors de diferents objectes es creuen o xoquen. A partir de aquí es crearan els taxis i les persones amb col·lisionador i "Rigidbody".

A continuació es mostraran i descriuran els elements creats (a part dels taxis i passatgers) que ajudaran a controlar la simulació amb les seves interaccions amb els vehicles i persones. Ens els següents apartats es mostrarà de forma mes extensa la funció de cadascun d'ells.

Taula 9-1. Descripció objectes controladors de la simulació.


Número	GameObject	Descripció
1	Treballador	És l'encarregat de parar o deixar passar als passatgers i de dir a quin taxi han de dirigir-se
2	Creador de taxis	Objecte invisible que crea taxis a partir dels seus motllos
3	Controlador "batch"	Objecte invisible amb la missió de controlar els taxis que accedeixen a la zona de càrrega
4	Zona de càrrega	Objecte invisible que controla i coordina les diferents seqüències que es donen a la zona de càrrega
5	Controlador sortida	Objecte invisible encarregat de parar o deixar passar els taxis a la sortida del sistema.

A continuació es dividirà la simulació per etapes per tal de poder explicar de manera més fàcil cada element de simulació.

9.2.1. Inici

L'etapa inici es posa en marxa per defecte al iniciar la simulació, és única i irrepètible, i serveix per assentar les bases per les properes etapes cícliques.

Al començar la simulació el creador de persones es posa en marxa per defecte creant les arribades destinades a les 7:00. Cada persona creada i assignada en un carril de encotxar segons el tipus de passatger que sigui, ha de realitzar el recorregut pertinent fins arribar a

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

al treballador on si no hi ha persones al davant seu podrà accedir al treballador, simular un petit temps de consulta i tot seguit avançar al taxi que li pertoca. Els passatgers al arribar al taxi simularan un temps de pujar al taxi, carregar les maletes... I finalment seran destruïdes.

En la basant dels taxis, l'objecte creador de taxis crearà per defecte 14 taxis que aniran passant correlativament cap a la zona de carrega de passatgers passant prèviament per un controlador del "batch" invisible que comptarà el número de taxis que passen per allà i un cop arribi al total de 9 taxis, canviarà el seu estat de deixar passar a no deixar passar taxis fent que es detinguin del 9 al 14 a la zona de "pre batch." A la zona de càrrega de passatgers els taxis es trobaran amb un controlador de sortides amb un estat per defecte de no deixar passar, fent que els taxis es detinguin a la zona de càrrega de passatgers.


El treballador deixarà passar les persones cap a la zona de càrrega per defecte. L'element controlador de tot el sistema anomenat "zona de càrrega" tindrà la missió de comptar el numero de persones que entren a la seva àrea, enviant un missatge al treballador per que no deixi passar més persones quan el seu comptador arribi a 18 entrades, i al comptar 18 persones destruïdes (el taxi esta preparat per sortir), enviarà un senyal al controlador de sortida per que aquest deixi sortir els taxis, i així comenci la seqüència de descarrega.

Taula 9-1. Resum seqüència Inici

Seqüència Inici	
GameObject	Activitat
Treballador	Deixar passar persones
Creador de taxis	Crear 14 taxis
Controlador "batch"	Deixar passar 9 taxis
Zona de càrrega	Comptar el número de persones que entren 18 i que son destruïdes 18
Controlador sortida	No deixar passar taxis

Taula 9-2. Accions canvi de seqüència a Descàrrega.

Inici → Descàrrega	
GameObject	Activitat
Treballador	bool passar=True→False
Creador de taxis	bool crear=False
Controlador "batch"	bool passar=False
Zona de càrrega	bool descarrega=True; carrega=False; Encotxar=False

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

Controlador sortida	bool passar=False→True
---------------------	------------------------

9.2.2. Descarrega

La seqüència descarrega s'inicia quan el controlador de sortides del sistema deixa sortir els taxis que hi ha a la zona de càrrega. Un cop han sortit tots els taxis i l'objecte "zona de càrrega" ha comptat que 18 taxis han sortit del sistema, aquest envia un senyal al creador de taxis per que aquesta canviï el seu estat de no crear taxis a crear taxis, un altre al controlador del "batch" per que deixi passar taxis i un últim missatge al controlador de sortides per que aquest no deixi passar els taxis que hi vagin arribant. Així donarà lloc a l'inici de la seqüència càrrega.

Taula 9-3. Resum seqüència Descarrega


Seqüència Descarrega	
GameObject	Activitat
Treballador	No deixar passar persones
Creador de taxis	No crear taxis
Controlador "batch"	No deixar passar taxis
Zona de càrrega	Comptar número de taxis que surten
Controlador sortida	Deixar passar taxis

Taula 9-4. Accions canvi de seqüència a Càrrega.

Descarrega → Càrrega	
GameObject	Activitat
Treballador	bool passar=False
Creador de taxis	bool crear =False→True
Controlador "batch"	bool passar=False→True
Zona de càrrega	bool descarrega=False; carrega=True; Encotxar=False
Controlador sortida	bool passar=True→False

9.2.3. Càrrega

La seqüència de càrrega el creador de taxis crearà un altre fornada de 9 vehicles que sumant els 5 acumulats al "pre batch" fan un total de 14. El controlador del "batch" al

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

igual que al inici deixarà accedir a 9 dels taxis i canviarà el seu estat a no deixar passar. Els taxis avançaran per la pista fins arribar al controlador de sortides que els frenarà. Un cop l'objecte "zona de càrrega" hagi comptat que 9 taxis han entrat, enviarà un senyal al treballador per que deixi accedir les persones a la zona de càrrega i donarà lloc al inici de la seqüència d'encotxar.

Taula 9-5. Resum seqüència Càrrega.

Seqüència Càrrega	
GameObject	Activitat
Treballador	No deixar passar persones
Creador de taxis	Crear 9 taxis
Controlador "batch"	Deixar passar 9 taxis
Zona de càrrega	Comptar número de taxis que entren
Controlador sortida	No deixar passar taxis

Taula 9-6. Accions canvi de seqüència a Encotxar.


Càrrega → Encotxar	
GameObject	Activitat
Treballador	bool passar=False→True
Creador de taxis	bool crear=True→False
Controlador "batch"	bool passar=True→False
Zona de càrrega	bool descarrega=False; carrega=False; Encotxar=True
Controlador sortida	bool passar=False

9.2.4. Encotxar

La última seqüència del cicle és la d'encotxar. En aquí el treballador deixa passa als passatgers i els hi assigna un taxi destí per que n'accedeixin. Un cop l'objecte "zona de carrega" ha comptabilitzat que 18 passatgers han entrat a la zona enviarà un missatge al treballador per que aquest no deixi accedir a més passatgers, i quan finalment es comptabilitzin 18 persones destruïdes o que han abandonat el sistema s'enviarà un missatge al controlador de sortides per que deixi sortir als taxis i aquests puguin abandonar el sistema donant lloc al inici del cicle amb un altre cop la seqüència de descarrega.

Taula 9-7. Resum seqüència Encotxar.

Seqüència Encotxar	
GameObject	Activitat
Treballador	Deixar passar persones

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

Creador de taxis	No crear taxis
Controlador “batch”	No deixar passar taxis
Zona de càrrega	Comptar el número de persones que entren 18 i que son destruïdes 18
Controlador sortida	No deixar passar taxis

Taula 9-8. Accions canvi de seqüència a Descàrrega.

Encotxar→Descàrrega	
GameObject	Activitat
Treballador	bool passar=True→False
Creador de taxis	bool crear =False
Controlador “batch”	bool passar=False
Zona de càrrega	bool descarrega=True; carrega=False; Encotxar=False
Controlador sortida	bool passar=False→True


9.3. Experiència amb Unity

L'experiència que es tenia amb es software Unity al principi no era més que la d'un aficionat que havia realitzat algun joc en 2D, però a petita escala. No obstant, aquesta petita experiència prèvia va ser un gran pas per ja conèixer el funcionament del software, el idioma de programació i els elements basics per la creació de nou contingut. També cal comentar que a diferencia de FlexSim, Unity te a Internet una gran comunitat, vídeos e informació que faciliten en gran mesura l'aprenentatge.

Implementació i creació dels objectes

El primer en que els esforços es van enfocar va ser en la creació d'un terreny i la importació de l'edifici creta amb el SketchUp. En aquest primer punt la dificultat no va ser elevada ja que el propi Unity ja en disposa de d'una eina per realitzar de manera senzilla terrenys i poder-los modificar i afegir textures de manera fàcil i intuïtiva. El model de l'edifici creat amb l'SketchUp va se importat i escalat sense cap problema en format 3ds.

Tot seguit els esforços es van centrar en creat un personatge invisible i amb una càmera al darrera simulant la vista d'una persona. L'objectiu d'aquest personatge és el de poder moure's per l'entorn durant la simulació a raó del que la estigui visualitzant, i així poder donar una visió del que s'estigui interessat durant el procés execució. En aquí tampoc hi

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

va haver cap mena de problema ja que per la creació i moviment d'un personatge en videojocs hi ha molta informació.


Seguidament es va crear un punt d'aparició de persones "Spawn" que cada X temps crearia una persona per simular les arribades, es van importar els models de les persones i es va crear les animacions de caminar i estar quiet per aquetes. En la importació de personatges és imprescindible que aquests s'hagin creat amb un programa que introdueix dins dels models un esquelet que els permeti realitzar animacions amb el seu cos. Malauradament, al ser necessaris models amb esquelet és difícil poder-los descarregar de forma gratuïta. La qual cosa condueix a que hi hagi poca varietat de models durant la simulació. Unity té una secció de tenda on es poden trobar models de tots tipus fets per propis usuaris de Unity, en aquí és on es descarregarà tot el contingut necessari per realitzar la simulació, ja sigui gratis o a preu reduït.

A continuació el pas que tocava donar era el de programar el moviment, recorregut i interaccions de les persones mitjançant codi. Al ser creada una persona, aquesta per defecte es posaria en moviment amb una direcció i velocitat determinades, i els esdeveniments que aquestes anirien trobant a llarg del seu recorregut anirien modificant la seva direcció i/o comportament. Aquí es va trobar una major dificultat a l'hora de comunicar scripts, ja que un d'ells era creat durant la execució (el de les persones).

Un cop finalitzat amb les persones tocava fer el mateix amb els taxis, és a dir, crear un motllo de taxi "prefab", crear un "spawn" que crearia taxis quan i tants com se li demanés i programar el seu recorregut, moviment i interaccions. Després de haver superat el repte de les persones, aquets va ser fàcil ja que no deixava de ser el mateix però amb un altre objecte i objectius. La major dificultat va ser la de configurar el moviment en vertical dels taxis (quan baixen de la primera planta a la planta baixa), però aquest problema es va solucionar creant els taxis com a un objecte dinàmic, és a dir, amb una massa afectada per la gravetat (les persones al només tenir moviment en 2 dimensions es van crear com a objectes cinemàtics els quals son més fàcils de programar i controlar).

Programació de la lògica de simulació


Finalment i com a pas més important i crític es va crear la lògica de simulació i les interaccions que els objectes (Taxis, persones i treballadors) tenien entre ells, amb l'entorn de simulació i les seqüències de actuació (carrega, encotxar descarrega...). En aquest punt van sorgir diferents tipus de problemes a l'hora de incoherències de codi que feia que el sistema no respongués com es demanava, però res que no fos fàcil de solucionar amb lògica. Un segon tipus de problema molt més greu i difícil d'afrontar era que degut a que els taxis eren objectes dinàmics i per tant tenien una massa i una inèrcia, juntament a que el ordinador amb el qual es va programar no tenia les capacitats de

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

hardware òptimes. Primer cal comenta el funcionament dels taxis. L'objecte que dona forma als taxis te com element que interactua amb l'entorn dos col·lisionadors, un a la part inferior per poder interactuar amb el terra, i un col·lisionadors vertical en forma de pantalla col·locat a uns 50 cm darrera del taxi per a que quan els taxis mes endarrerits el trobin es parin al xocar amb aquest, i només seguiran avançant en el cas de que aquest col·lisionadors surti del el objecte amb el que ha tingut col·lisió, en aquest cas el segon taxi més endarrerit. L'esdeveniment que succeïa era que al frenar-se els taxis a la zona de "batch" per que trobaven un altre taxi parat, aquests es passaven de frenada i s'introduïen massa a dins dels box col·lisionadors de vehicles amb el que tenien la col·lisió fins interactuar també amb el segon col·lisionadors que tenien els cotxes. Aquest succés provocava que quan els taxis accedien a la zona d'encotxar i havien de tornar a parar, aquests havien sortit del segon col·lisionadors, però no del primer i per tant es creava una col·lisió de vehicles en cadena. Després de molts dies de recerca i de prova i error es va arribar a la solució de primer de tot transformar els taxis en objectes cinemàtics, per tant es podia controlar millor la frenada al no haver inèrcia ni massa, no obstant, el problema seguí mostra't-se degut a que la potencia del ordinador no era suficient i quan hi havia molts objectes al sistema cadascun funcionant amb el seu codi, es col·lapsava el ordinador i no arribava a temps a parar els vehicles. Com a segona mesura de solució va ser la de crear un tercer col·lisionadors als vehicles igual a la pantalla del segon però una mica més endarrerit, la qual cosa feia que si algun vehicle es passava de frenada, tingués un segon element de seguretat per tal de no xocar amb els altres taxis.

Creació escenes inicial i final

Un cop acabat tots els element propis de la simulació tocava expandir la capacitat del projecte a nivells de crear una escena de menú d'inici, una escena amb la pantalla final de resum de dades, i la comunicació entre aquestes escenes amb la de simulació. L'escena inicial que es mostraria al arrancar el projecte és una pantalla destinada a configurar els paràmetres variables de la simulació com pot ser la gent que arriba a l'estació cada hora i el temps necessari per que l'operari assigni un taxi a un passatger. Després d'assignar les variables o de deixar-les per defecte amb un botó d'inici de simulació es passarà a iniciar la simulació fet un canvi d'escena. Durant la simulació hi ha un objecte encarregat de recollir les dades que els taxis i els passatger aporten com el temps màxim de recorregut d'un passatger, la cua màxima que hi ha hagut, entre d'altres. Al acabar la simulació aquest objecte no es destrueix sinó que es conserva quan es canvia a l'escena de resum final per a poder exhibir les dades recopilades. A més, en aquesta última escena hi ha un botó que permet transferir les dades recollides a un arxiu d'excel.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

Modificació temps d'encotxar

Fins aquest moment el temps necessari per encotxar els passatgers sempre havia estat un valor constant, però per poder extreure valors finals de simulació propers a la realitat com amb l'Arena o el Flexsim, es necessari implementar els valors de forma aleatòria seguint les funcions de probabilitat establerts per l'estudi previ. Unity al no disposar de llibreries de funcions matemàtiques tan complexes s'ha hagut de crear una funció de codi mitjançant les formules de la funció de distribució de probabilitat triangular per tal de representar les dades de manera fidel. Pel que pertoca a les funcions lognormal el tema es complicava de manera exponencial i per tant es va estimar que si s'aproximaven a funcions triangular no hi hauria una diferència tant gran de resultats, i per tant es van tractar totes les funcions com triangulars.

Taula 9-2. Noves distribucions triangulars.

Secció	Distribució temps encotxar
B1	Tria(103, 136, 321)
B2	Tria(45, 70, 95)
B3	Tria(35, 52, 69)
B4	Tria(13, 31, 49)

Realització vídeo 360 graus

Un dels objectius proposats quan es va plantejar l'opció de simular amb Unity va ser el de poder gravar una o més parts de la simulació en 360° per poder veure-la amb ulleres de realitat augmentada. Aquesta gravació es va realitzar al final del projecte i es va realitzar de la següent manera. Primerament es va haver de descarregar un aplicació de la tenda virtual de Unity anomenat "360 Panorama Capture". Aquesta extensió creada per un usuari anònim funciona a partir de crear un nou "Gameobject" i afegir-li el "script" que ve al descarregar l'extensió. Un cop ajustats els paràmetres que el nou "script" dota a l'objecte, primerament es va realitzar la prova creant una foto en 360°. El primer resultat no va ser bo ja que es va realitzar la captura en format PNT. i el reproductor de VR utilitzat no acceptava el format, llavors es va canviar a format JPG., i aquest si que va poder ser llegit pel reproductor. El pas següent va ser el ajustar l'objecte per a que des de que i fins quan se li ordenés realitzes una captura en 360° a cada "frame".

Un cop obtingudes les captures a 360° per cada "frame" es va passar a la edició d'aquests a partir de la seva unió amb un programa d'edició de vídeo. El resultat va ser el de crear un vídeo format per diferents moments de la simulació amb una durada de 5 a 10 segons cadascun d'ells. Al realitzar el vídeo, i el resultat no va ser l'esperat en quant a qualitat i




experiència, ja que veure en realitat virtual petits fragment de 5 segons ajuntats no resultava molt immersiu a la par que marejava, es va optar per buscar alternatives.

L'alternativa que es va trobar i amb la qual es va treballar finalment va ser la de treballar amb un altre extinció del Unity que gravava en vídeo la seqüència completa. Com es va obrir la possibilitat de poder gravar-ho tot de una sola vegada, es va programar un circuit a realitzar per la càmera durant la gravació. Els resultat va ser el d'un vídeo de una durada de 2 min i 30 segons que recorria tota l'estació des de l'inici de la simulació, aquest vídeo però es va gravar en 60 fps, i els "frames per second" mínims recomanats per a vídeos en realitat virtual han de ser de 90, donant com a resultat un vídeo que no es suficientment fluid com per a que no sigui incòmode per la vista, no obstant no es res que no es pugui suportar ni que provoqui marejos. Un altre dels problemes de realitzar la gravació en 360, és que l'equip ja va de per si just per executar la simulació programada, però si a més se li afegeix aquesta aplicació, comencen a sorgir errors en la simulació tals com que els que es produïen al simular a una velocitat elevada (un taxi es salta la cua i en comptes de tenir 9 a la zona de carrega es té 10, per exemple), l'equip no esta preparat ni capacitat per suportat aquests requeriments.



Il·lustració 9-6. Comparativa errors creats per la gravació.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

Construcció de l'entorn

De la mateixa manera que amb les persones i els taxis importats al projecte, els edificis i els altres elements urbanístics van ser portats des de la tenda virtual del Unity aquells que eren gratuïts. L'objectiu era el de tapar els límits del mapa amb edificis per crear un entorn més immersiu i que s'adaptés al nostre edifici ja creat, sense que aquests suposessin una gran càrrega gràfica a l'hora de realitzar la simulació. Pel que fa a les muntanyes localitzades al final del mapa, no és més que una imatge col·locada en vertical al final del terreny creat.

Creació de seccions B1, B2 i B3


Alhora de triplicar els objectes que conformen el sistema B4 per formar els de B1, B2 y B3 s'ha hagut de també modificar els scripts que els conformen per tal que els temps d'encotjar i els temps de creació de persones s'ajustin als establerts prèviament.

Un cop finalitzat la primera secció de prova del sistema (es va començar creant la secció B4) i es van fer diferents proves per comprovar quina resposta donava el sistema al aplicar-li diferents exàmens, es va veure que la simulació no responia de manera correcta en quan se li augmentava la velocitat de reproducció. Els problemes que es mostraven eren que els resultats, contràriament al esperat, no eren repetitius i formaven problemes de execució. Aquests problemes trobats al augmentar la velocitat de reproducció son deguts a que el ordinador amb el que s'ha realitzat el projecte no es capaç de respondre correctament a la gran quantitat de "scripts" corrent alhora a una velocitat elevada, juntament a que Unity es un motor que no esta preparat per treballar contínuament a velocitats de reproducció mes grans a la estàndard, a més de que òbviament el codi creat per als objectes no és el més òptim degut a la inexperiència.

Problemes tècnics

Degut al problema de que no es disposa d'un equip prou potent com per realitzar la simulació a una velocitat elevada, es va arribar a la conclusió de dedicar la simulació creada al Unity únicament al aspecte visual, crear un model que ha velocitat normal reproduceixi fidelment l'ambient de la estació de taxis creada, sent així un altre manera de vendre el producte. A més a més, també es prepararà la simulació per poder gaudir-la amb un equip de realitat virtual proporcionat per la universitat, i així d'aquesta manera crear un ambient completament immersiu en un projecte creat per poder ser venut.

Tot hi resignar finalment la simulació del Unity purament al apartat visual, es van trobar tota mena de problemes aleatoris sorgits cada cop que s'afegien nous apartats que exigien més al programa com pot ser els apareguts al capturar l'escena, ja comentats en l'apartat de realització del vídeo 360. Aquests problemes aleatoris es podien donar o no amb

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019


diferents reproduccions d'un mateix model en diferents objectes com els taxis, les persones o qualsevol altre element que tingués la possibilitat d'interaccionar amb l'entorn, fent que fos inabordable el problema, mostrant d'aquesta manera que el model creat era molt lluny de ser robust.

9.4. Resultats de simulació amb Unity

En aquest apartat, com ja s'ha comentat en el apartat de l'experiència amb Unity, no es podran obtenir resultats numèrics de la simulació degut a problemes tècnics referits a que l'equip amb el que es treballa no té la potencia suficient per realitzar la simulació a una velocitat elevada, i per tant la simulació duraria tant com els temps estudiant 4 hores en aquest cas. En lloc de realitzar la anàlisi amb els resultats numèrics, s'encararà aquest apartat a analitzar al aspecte gràfic de la simulació, únicament.

9.4.1. Funcionament del model

Al inicialitzar la simulació, primerament es carrega una pantalla amb l'edifici de l'estació de taxis de fons. En aquesta primera pantalla hi apareix un menú inicial on se li poden configurar els paràmetres inicials determinants en la simulació per tal de poder personalitzar-la amb diferents opcions i així obtenir varietat de resultats. En el cas de que es vulgui realitzar la simulació amb els paràmetres establerts per l'estudi inicial de l'estació, aplicant l'opció per defecte es configurarà d'aquesta manera. Un cop establert els paràmetres inicials, pitjant el botó "Simulació" es canviarà a la següent escena on ara si, començarà la simulació. També existeix la possibilitat de sortir del simulador pitjant el botó "Sortir".

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019



Il·lustració 9-7. Pantalla inicial Unity.

L'escena número dos comença la simulació de l'estació de taxis a les 7:00 del matí i finalitza a les 11:00 del matí. De la mateixa manera que amb e Flexsim, les persones entraran segons la demanda requerida a cada hora, i els taxis igualment. La seqüència cíclica a seguir serà la ja comentada al punt 9.2. Lògica de simulació. Una vegada la simulació arriba a les 11:00 o es prem el botó "Finalitzar simulació", el sistema canvia de seqüència a la final. On es traslladaran totes les dades recollides durant la simulació gracies a un objecte anomenat " Base de dades" que no es destruirà a al passar d'una escena a un altre.



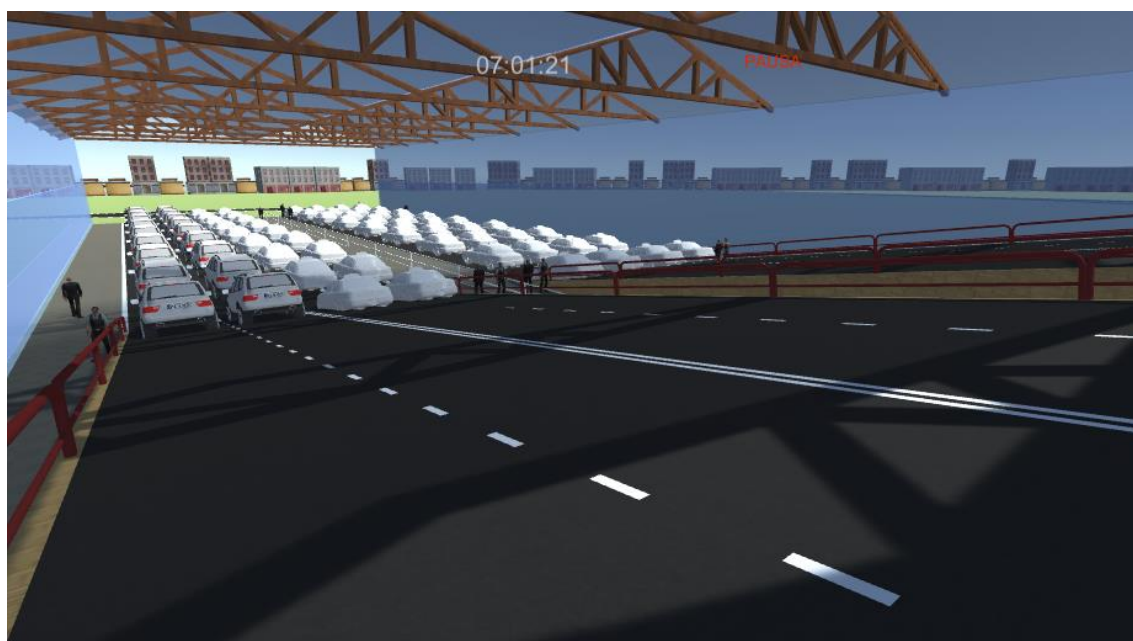
Il·lustració 9-8. Entrada i benvinguda a l'estació de taxis.



Il·lustració 9-9. Zona de càrrega i treballadors de les seccions B2 i B3.



Il·lustració 9-10. Sortida i zona de càrrega en perspectiva.




Il·lustració 9-11. Vista de la zona de càrrega des de el Batch.



Il·lustració 9-12. Zona de Batch

Finalment, al arribar a la escena final apareixerà un menú on es mostrarà tots els resultats que s'han anat acumulant sobre cada secció de l'estació, màxima cua, temps màxim d'un passatger, número de cicles, número màxim de passatgers i el temps màxim en cada cua (aquest temps fa referencia al temps que el passatger no ha estat en moviment, temps d'encotxar inclòs), per a cadascuna de les seccions. Tots els temps estan en segons, excepte el temps de simulació que esta en minuts. Aquests resultats finals poden ser exportats en un document CSV. per poder ser treballats i analitzats amb l'excel, si es prem el botó verd "exportar dades".

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019


Resultats finals de la simulació			
Temps de simulació		5.928817	Exportar dades
Zona B1		Zona B2	
Màxima cua	0	Màxima cua	0
Temps màx.p	98.70065	Temps màx.p	118.1701
Número de cicles	0.777778	Número de cicles	0.833333
Núm. màx.p	14	Núm. màx.p	15
Temps màx. en cua	38.70065	Temps màx. en cua	58.17014
Zona B3		Zona B4	
Màxima cua	0	Màxima cua	0
Temps màx.p	126.8493	Temps màx.p	324.9938
Número de cicles	0.333333	Número de cicles	0.833333
Núm. màx.p	6	Núm. màx.p	15
Temps màx. en cua	66.84932	Temps màx. en cua	264.9938

Il·lustració 9-13. Pantalla final amb resultats.

9.4.2. Captura 360

Tal i com es comenta al punt de la memòria experiència amb Unity, un dels fets motivadors per crear la simulació amb aquest motor gràfic era la infinitat de possibilitats que apareixien, i que feien separar-se i destacar sobre el nivell de possibilitats dels altres softwares estudiats. Una de les capacitats més atractives s'oferia era la de crear una captura de la simulació en 360 graus, obrint així la porta a una experiència en realitat virtual.

Al igual que els objectes importats al model creat, l'eina de gravar en 360 graus també s'ha de descarregar des de la tenda virtual de Unity. En aquí existeix una gran varietat de productes creats en relació al tema, però molts d'ells no son gratis i per tant fora del nostre abast. No obstant, es pot trobar una petita varietat de extensions gratuïtes, que no funcionen de la manera més optima possible, però son capaces de complir amb l'objectiu. Després de provar totes les opcions possibles, es va escollir una extensió que no treballava fent vídeos, sinó que capturava fotogrames i a una velocitat realment baixa, però era l'extensió que oferia imatges en 360 graus a major qualitat tant gràfica com de muntatge. Muntatge es refereix a que hi ha diferents maneres de obtenir una imatge en 360 graus, l'optima és la d'una foto panoràmica que giri la càmera al realitzar-la, i un altre manera de fer-la amb pitjor resultats és agafar el pla, corbar-lo i capturar la imatge, entre d'altres. El problema d'aquest mètode era que feia falta hores per poder realitzar

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

tantes captures com per poder realitzar un vídeo de 2 minuts, i amb un càlcul ràpid es va comprovar que el pes del vídeo seria de 22 GB.

Finalment, es va trobar una extensió que tenia la capacitat de gravar vídeos a una velocitat raonable (minuts) i amb un pes total de centenars de MB, però amb l'inconvenient de no arribar a la qualitat d'imatge de l'altre extensió.

Agafant la idea dels “flypoints” del Flexsim, es va crear un recorregut de la càmera per dins de l'edifici per mitjà dels “waypoints” ja explicats anteriorment, però que en resum guardarien un punt el l'espai de la simulació, i nosaltres a partir de programar una velocitat al recorregut, la càmera anirà de “waypoint” en “waypoint” realitzant un circuit durant la simulació.

10. Anàlisis i comparativa final

10.1. Anàlisis tècnic dels simuladors

Em aquest apartat es compararan el 3 softwares que s'han utilitzat per realitzar les simulacions del projecte. Primer de tot cal comentar que es compararan entre ells i que per tant que un tingui alguna especificació baixa vol dir que és respecte als altres dos simuladors, no a nivells globals.


Taula 10-1. Comparativa simuladors.

	Arena	Flexsim	Unity
Dificultat de creació	Baixa	Mitja	Alta
Rang de possibilitats	Baixa	Mitja	Alta
Qualitat gràfica	Baixa	Baixa	Alta
Dificultat obtenció de dades	Fàcil	Difícil	Normal
Especialització	Alta	Alta	Baixa
Exportar resultats	Mitja	Mitja	Alta
Importació d'objectes	-	Baixa	Alta
Requeriments equip simulador	Baixa	Baixa	Alta

A continuació es passarà a discutir cadascun dels punts de la taula 10-1:

Dificultat de creació

En aquest punt queda ben clar que l'Arena i el Flexsim al ser dos programes creats i preparats per a al obtenció de dades a partir de simular objectes, tenen molt més fàcil i ràpid el poder dissenyar un ambient amb unes certes condicions per obtenir uns resultats

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

o dades finals. Tot hi haver ficar en el mateix sac l'Arena i el Flexsim, cal esmentar que l'Arena és molt més intuïtiu i fàcil d'aprendre que no pas el Flexsim, en el qual hi ha una manca de manuals d'utilització i no es gens intuïtiu per a un usuari novell amb aquest tipus de programes.

Per un altre banda, Unity és molt més lent i corretjós ja que no hi te objectes prèviament dissenyats, i tot i cadascun dels elements que es vulguin utilitzar s'han de crear, modelar i programar des de zero.

Rang de possibilitats

En aquest segon punt Unity queda com clar i absolut vencedor. Mentre que amb l'Arena i Flexsim parlem de que són dos softwares especialitzats i per tant acotats en quant a possibilitats de simulació (tot hi que els dos gaudeixen de una gran varietat de opcions), amb Unity es pot simular qualsevol cosa i lo mes important, de la manera que es vulgui. Unity al no estar restringit per objectes prèviament dissenyats i programats, té la virtut de poder afrontar els problemes des de el punt de vista que es mes convingui, deixant així com a límit la imaginació i el nivell de programació que disposi l'usuari creador. A més a més, com Unity s'actualitza e implementa noves funcions periòdicament, existeix sempre la possibilitat d'oferir un producte amb les últimes novetats com pot ser el cas de la realitat virtual entre d'altres.


Qualitat gràfica

Avui dia no hi ha cap dubte que un producte es ven millor si es capaç de captar l'atenció del compradors per la seva estètica, i en aquets cas no serà diferent. L'Arena és un bon simulador a l'hora d'obtenir dades, però quant a simulació visual és molt pobre. En quant al Flexim és un software més encarat per a oferir una simulació visual, però a nivell esquemàtic, és a dir, la reproducció que es realitza no es una representació completament fidel de la realitat. A més, el motor gràfic que utilitza al ser del 2003, és molt pobre i ofereix una baixa qualitat gràfica.

Unity per un altre banda al ser un motor gràfic que s'actualitza anualment, és capaç d'oferir tot tipus de resolució actualitzades: 720p, 1080p, 4K, depenent de l'equip que s'estigui utilitzant, a més d'oferir la possibilitat de capturar en un entorn de realitat virtual.

Dificultat obtenció de dades

Un simulador és en gran mesura una eina estadística utilitzada per obtenir dades a partir d'establir un model a unes certes condicions per tal d'apropar-se el màxim possible a la realitat. En aquest apartat s'avaluarà la facilitat i velocitat d'obtenció de dades en els simuladors. Primerament, l'Arena com ja s'ha comentat anteriorment és un programa encarat a l'obtenció fàcil i ràpida de dades, a més a més, després de cada simulació Arena

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

et realitza un informe la tota la informació essencial i determinant (temps, cues, rendiments...) de cadascun dels objectes que en formen part del model creat. Com a únic punt negatiu seria que els gràfics que es poden realitzar amb l'Arena són molt primitius i escassos, tot hi que en el informe automàtic ja es realitzen gràfics amb les dades recollides.

Flexsim, per un altre banda contràriament a el que es pot pensar al ser un software de simulació, té com a gran punt negatiu l'obtenció de dades. No solament es poc intuïtiu el sistema per crear gràfics, sinó que també és pobre en varietat i moltes de les opcions que ofereix són innecessàries o poc útils. Sens dubte aquest apartat és el gran punt negatiu de Flexsim.


Finalment, Unity no disposa d'eines pròpies per poder dibuixar gràfiques i la seva biblioteca matemàtica és escassa, però a l'hora de obtenir dades si es té un mínim nivell de programació, es pot obtenir qualsevol dada que es desitgi de manera senzilla ja que només s'ha de programar i destinar un espai de memòria a aquella dada que faci falta. Un cop obtingudes les dades que es volen estudiar, aquestes poden ser exportades a un excel fàcilment i allà ser tractades amb una eina especialitzada. Per aquests motius tot hi Unity no disposar d'eines estadístiques és superior a Flexsim en aquest punt.

Especialització

Aquest punt pot ser redundant amb el que s'ha comentat anteriorment, però igualment és un apartat indispensables que s'ha de comentar. Mentre que Arena i Flexsim són dos programes creats per realitzar simulacions de models creats i a partir d'aquí obtenir dades de una manera més o menys fàcil sense tenir en compte aspectes visuals o estètics, Unity és un motor per fer videojocs des de 0, el que comporta que tot hi poder aconseguir uns nivells de qualitat en simulació gràfica i animació molt superiors al altres dos programes, també comporta que s'ha de dedicar molt més temps a confeccionar i caracteritzar el model. S'ha d'aclarir que s'està jutjant els models de Unity com a models amb un gran nivell d'animació, sempre en un entorn 3D d'alta qualitat, però també existeix l'opció de crear un entorn 2D senzill i sense animacions per únicament extreure dades, com és el cas de l'Arena. De tota manera aquesta opció seguiria requerint molt més treball i dedicació que amb l'Arena.

Exportar resultats

En aquest punt es valora el fet de poder transferir les dades obtingudes de les simulacions a un altre programa com és l'excel, el qual és molt més capaç, potent, preparat i familiar que els tres softwares de simulació utilitzats per analitzar i manipular les dades obtingudes. En els tres casos estudiats, tots tres programes estan preparats per crear arxius

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

CSV. per transferir la informació, no obstant, hi ha una sèrie de diferències pel que pertany a la dificultat d'exportació. Per un costat, Arena tot hi tenir la possibilitat d'exportar dades a excel no es contempla aquesta opció com a principal degut a que el propi programa està dissenyat per extreure un arxiu propi de resultats. Flexsim, per un altre costat si que està més predisposat a facilitar els resultats en formats llegibles per excel tot hi que un cop més el procés és poc intuïtiu i tediós. Finalment, per poder exportar dades des de Unity, el mètode és el mateix que es realitzaria des de qualsevol altre sistema de programació per objectes com visual Studio, per tant, si es coneix la tècnica, és procés senzill.

Importació d'objectes

En aquest penúltim punt, Arena queda exclòs a anàlisis degut a que tot hi tenir simulació gràfica en 3D, ja va ser estudiat prèviament en un altre TFG . Per un altre banda Flexsim i Unity no van ser estudiats. El mètode d'importació en Flexsim consisteix a crear un objecte sòlid en 3D i en aquest canviar-li la forma per la desitjada exportada. El problema d'aquest mètode és que accepta pocs formats dels objectes importats, fent que resulti difícil trobar objectes compatibles per internet com va ser el cas del taxi, i que en el cas de l'edifici que es va dissenyar s'hagi de guardar en un format concret, dificultant així el procés d'importació.


Unity funciona diferent a Flexsim en aquest aspecte, ja que no modifiques un objecte ja existent en el programa, sinó que s'afegeix l'objecte al sistema i després l'usuari serà qui li dona propietats en aquest. A més Unity disposa d'una tenda online d'on es pot extreure gran quantitat d'objectes de manera gratuïta.

Requeriments equip simulador

Aquest punt s'ha volgut incloure en l'anàlisi degut als problemes tècnics que s'han trobat durant tot el projecte. Avui dia tot equip informàtic té les capacitats tècniques suficients com per moure qualsevol model creat en Arena i Flexsim, i simulacions a grans velocitats gràcies als seus baixos requeriments tècnics. Unity, en canvi, aquest punt és on més coixega degut a que es requereixen equips potents i especialitzats per poder realitzar grans models amb una grans quantitats de codi i a un nivell gràfic actualitzat.

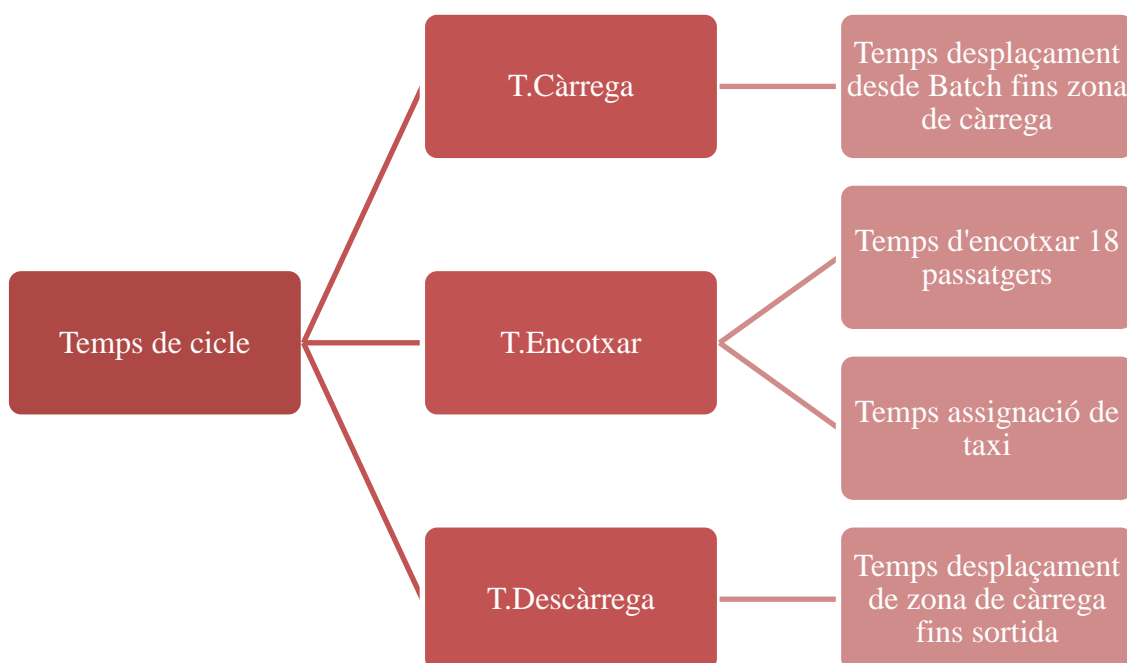
10.2. Discussió i optimització de resultats

L'objectiu d'aquest apartat és el de discutir els resultats extrets per les simulacions i plantejar possibles solucions i/o millores, per a que quan aquest model sigui traslladat a la vida real, aquest sigui el model a seguir més òptim possible. Com tant les simulacions

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

amb Arena, com les del Flexsim han presentat resultats molt similars, es tractaran les dades obtingudes d'una forma genèrica.

El punt que a primera vista més capta l'atenció a l'hora d'analitzar els resultats és les cues que es formen a l'horari d'arribades de 9:00 a 10:00 a les seccions de passatgers B2 i B3. Com s'ha comentat ja en el propis apartats del resultats de les simulacions, aquestes cues son formades per els colls d'ampolla que es formen degut al temps que triguen a encotxar les persones. No obstant, aquest temps és una variable constant que no es pot modificar ja que es una característica del sistema. Per tant, s'han de buscar altres factors que siguin influents en el temps de cycle, per tal de reduir-lo. L'esquema mostrat a continuació és la disgregació de tots el factors que intervenen en el temps de cada cycle:



Il·lustració 10-1. Esquema temps de cycle.

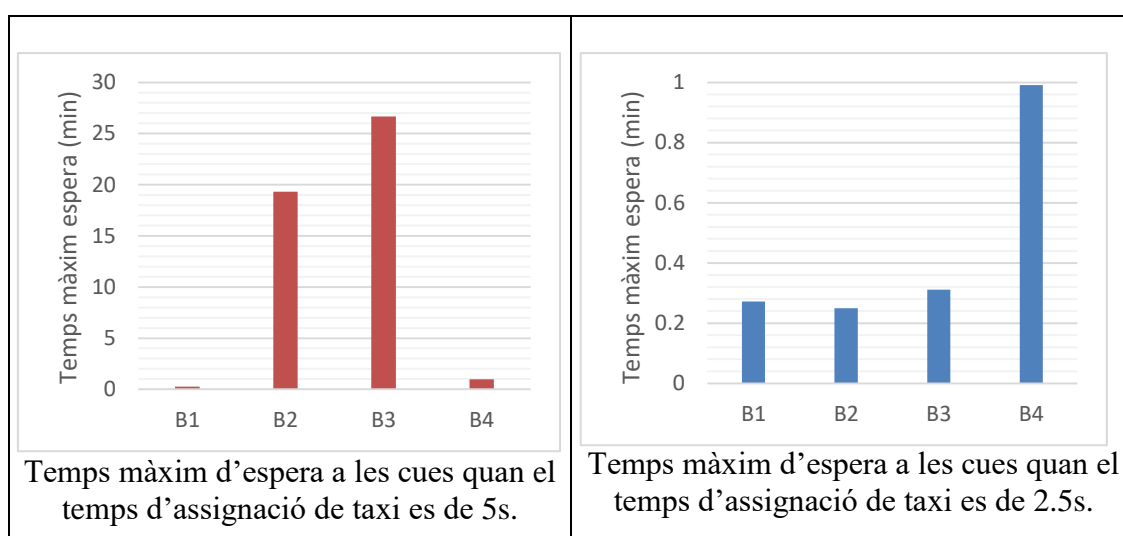
De tots els elements que formen part del temps de cycle, l'únic que es pot optimitzar és el de temps d'assignació de taxi, els altres o ja estan reduïts al màxim o son constants. Si agafem com a referencia les dades de la simulació amb Arena, el temps de cycle per a les seccions B2 i B3 és de 2.3 i 2.4 minuts respectivament.

El temps d'assignació de taxi fa referencia a el temps que es triga en que un operari assignat a controlar la cua l'indiqui al passatger quin és el taxi al qual s'ha de dirigir. En les característiques del model creat aquest paràmetre obté un valor de 5 segons, la qual cosa provoca que si a cada cycle hi participen 18 grups de passatgers amb un retràs de 5 segons cadascun d'ells, finalment obtenim un retràs en el temps de cycle en referencia al temps d'assignació de 90 segons.



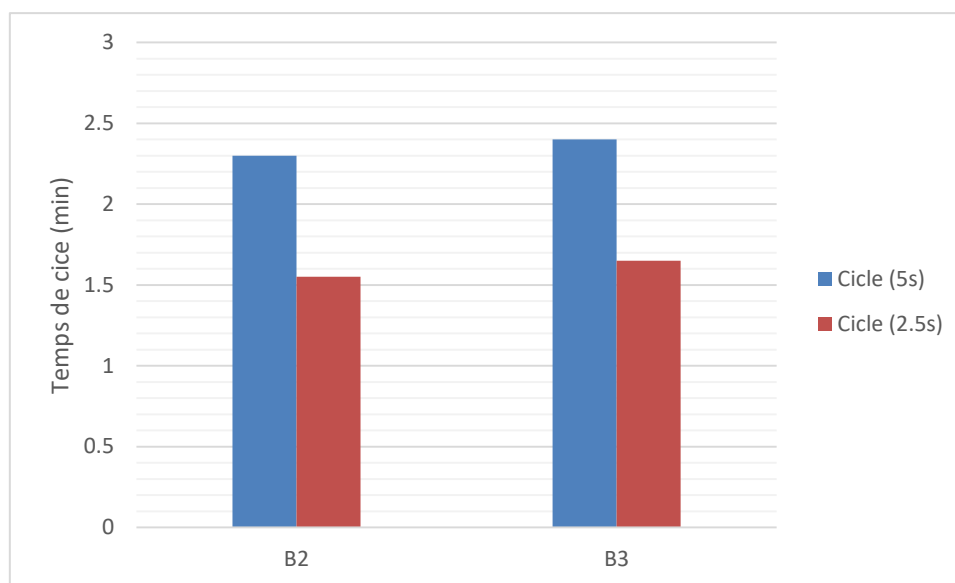
Per poder optimitzar aquest paràmetre es va proposar la idea de reforçar la posició dels operaris durant aquestes dues hores crítiques (entre les 8 i les 10 de matí) amb un segon operari que treballés en paral·lel fent així que el temps total d'assignació de taxis fos de 2.5 segons en comptes de 5. Aquesta reducció del temps d'assignació fa que el total en cada cicle baixi de 90 a 45 segons destinats per cicle.

Els resultats obtinguts van se millors dels esperats a primer moment, ja que no solament redueix les cues en gran mesura, sinó que fins hi tot les elimina pràcticament com es pot comprovar a la següent figura.



Il·lustració 10-2. Temps màxim d'espera per secció.

Com es pot comprovar a la il·lustració 10-2, els temps màxims d'espera pateixen una gran baixada en les seccions B2 i B3 només a partir de reduir el temps d'assignació de 5 a 2.5 segons. Amb aquest canvi el temps de cicle total de les seccions B2 i B3 queda reduït de 2.4 i 2.4 a 1.55 i 1.65 respectivament, la qual cosa significa una reducció del 32.6% per al B2 i 31.2% pel B3.



Il·lustració 10-3. Temps de cicle abans i després.


Un cop obtinguts aquests resultats es pot concloure que el principal coll d'ampolla del procés creat queda en el moment en el que s'assignen els taxis als passatgers, però si es reforcen les seccions B2 i B3 durant les hores crítiques d'entrades amb un segon operari, el problema de que s'acumulin grans cues de passatgers queda resolt completament.

11. Conclusions

Abans de començar a descriure quals han estat les conclusions del projecte realitzat, seria adient assenyalar el grau de consecució dels objectius plantejats en el treball.

S'ha aconseguit reproduir el mateix model de simulació en tres simuladors diferents, tot hi un d'ells sense ser un software preparat per a simular com a tal. Una primera simulació que funcionés com a model a seguir amb l'Arena per obtenir les dades de manera senzilla i amb un alt grau de fiabilitat. Una segona i tercera simulació en 3D amb els programes Flexsim i Unity.

S'ha observat que tant a l'Arena com al Flexsim els resultats són tant repetitius i reproduïbles. En canvi, tot hi creure que amb el model creat en Unity també es podrien obtenir resultats de la simulació semblants als obtinguts amb els altres programes, degut als alts requeriments del software no ha sigut possible demostrar-ho per la incapacitat d'accelerar la velocitat de simulació. Tornant a la comparativa entre l'Arena i el Flexsim, les petites diferències trobades amb els resultats són principalment degudes a les diferents

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

maneres de gestionar les entrades entre els programes, explicat més extensivament al punt “10. Anàlisi i comparativa final”.


Tots tres models creats amb els diferents softwares, com s’ha comprovat en el punt d’optimització del model, són capaços de respondre de manera correcta a canvis tant en les característiques com en l’entorn, per tant, estan preparats per ser utilitzats en futures investigacions o estudis amb diferents característiques requerides. A més, la simplicitat amb la que s’han adaptat els models, fa que siguin fàcilment utilitzats com a models a seguir en futures simulacions amb entorns completament diferents.

Com a últim objectiu que es va proposar, va ser un a nivell més personal, que era el de aprendre a utilitzar els softwares de simulació proposats a nivell professional. Personalment puc dir que estic completament satisfet amb el meu aprenentatge en les tres eines utilitzades, ja que he sigut no només capaç de crear un complex entorn basat en un model real, sinó que a més, he estat capaç d’anar molt més enllà realitzant vídeos normals i en 360 graus sobre la simulació, i he pogut realitzar les modificacions necessàries per tal de optimitzar-lo. El sentiment actual és el de estar preparat per afrontar qualsevol projecte relacionat amb la simulació.

Aventurant-nos en la part de conclusions més reflexiva, primerament cal comentar que simular és una bona manera d’obtenció de models i dades pròxims a la realitat, però mai exactes, no obstant, per poder realitzar una simulació pròxima a la realitat, es necessari un gran estudi e investigació previ, la qual cosa no sempre es rentable si el número de variables aleatòries és molt elevat. Aquest projecte és un gran exemple de que tot hi semblar un model poc complex i amb límits ben definits, una petita variació en algun paràmetre comporta grans canvis en el resultat final i per tant es necessari ser molt acurat i meticulós a l’hora de construir el model.

Després de finalitzar el projecte, es pot dir que Arena és un simulador excel·lent per aquest projecte en concret. Aquesta conclusió ve donada perquè compleix de bona manera amb els requisit que eren necessaris per dur a terme aquest treball. Fàcilment adaptable al model creat ja que disposa de un amplia varietat de d’objectes, fàcilment modelable per poder realitzar modificacions adients a la seva optimització, amb una informe de resultats extens a la vegada que precís en quant a tipus de resultats.

Flexsim tot hi ser en general un gran simulador, al estar massa encarat a processos industrials, considero que sigui el millor programa per poder simular aquest tipus de models, no perquè no es pugui, sinó perquè és necessari un gran procés d’adaptació dels objectes. Per un altre banda, a l’hora de poder crear animacions i captures de vídeo de manera tan fàcil, fa que aquest programa guanyi molt de valor en quant al número

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

d'opcions i possibilitats. La gran contrapart que s'ha trobat amb el Flexsim ha estat a l'hora d'extreure resultats, ja que no només és un procés poc intuïtiu, sinó que les opcions que ofereix són limitades i molts cops insuficients.


Al començar a crear el model amb Unity es sabia prèviament que al no ser un simulador ja preparat amb objectes de simulació propis, la feina d'adaptar-lo seria molt més gran. L'opció de simular amb Unity es va proposar per la gran varietat de possibilitats que oferia el programa i en aquest punt a complit amb les expectatives. La part negativa que no es va contemplar abans de començar amb el projecte va ser la de desconèixer els problemes aleatoris i incontrolables que es produïrien en la simulació per la necessitat d'un ordinador més potent i capaç a l'hora de moure un model creat per un usuari amb falta d'experiència amb Unity. Un altre punt negatiu va ser el de no preveure la necessitat d'objectes 3D com poden ser els taxis o les persones, i es va haver de treballar amb models gratuïts que no eren estèticament els models que més encaixaven. Dit això, es pot concloure que si es domina Unity, és un simulador molt potent i ric en possibilitats.

Al món de la simulació encara li queda molt camí per recórrer de la mà del món de les innovacions tecnològiques i dels videojocs, i més ara que fa poc que s'ha obert la porta a la realitat virtual, una possibilitat que pot aconseguir nivells d'immersió propers a la realitat. D'aquesta manera arribar al dia en que es pugui recrear qualsevol tipus de situació amb un nivell de fiabilitat tant alt que es considerin les simulacions com a recreacions idèntiques de la realitat.

12. Bibliografia

12.1. Llibres


- Modelado y simulación. Aplicación a procesos logísticos de fabricación y Servicios, Antoni Guasch, Miquel Àngel Piera, Josep Casanovas y Jaume Figueras. Edicions UPC, 2002.
- Evaluation of alternative arrangements for the provision of airport taxi service, James Mak la Croix and Walter Miklius. Manoa, 1991.
- A Regression Model of the Number of Taxicabs in U.S, Bruce Schaller. Cities: Elsevier, 2007.
- Taxicab regulation in Japan, David Flath: Elsevier, 2006.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

- Improving Public Transport by Integrating Taxi Services, Ron Hartman. Lisbon, 2007.

12.2. Pàgines web

- La Vanguardia. “Un ratón airea la disputa por la ‘parrilla’ de taxis del aeropuerto de Barcelona” [en línea]
 <<https://www.lavanguardia.com/local/barcelona/20180219/44818863147/raton-precariedad-parrilla-taxis-t1-aeropuerto-el-prat.html>>
- Flexsim [en línea]
 <<https://www.flexsim.com/es/>>
- Aena. [en línea]
 <<http://www.aena.es>>
- Malagahoy. “Comienza a funcionar el nuevo sistema de taxis en el aeropuerto” [en línea]
 <https://www.malagahoy.es/malaga/Comienza-funcionar-nuevo-sistema-aeropuerto_0_1218778821.html>
- Arena [en línea]
 <<https://www.arenasimulation.com/>>
- La nueva España. “Uber y Cabify, ¿qué son y por qué causan tanta polémica?” [en línea]
 <<https://www.lne.es/sociedad/2017/04/28/uber-cabify-son-causan-polemica/2096162.html>>
- Aeropuerto de Málaga [en línea]
 < www.airport-malaga.com/>
- Aeropuerto de Madrid-Barajas [en línea]
 < www.aeropuertomadrid-barajas.com/info-aeropuerto-de-Barajas.htm>
- Unity [en línea]
 <www.unity3d.com/es>
- Fib.UPC [en línea]

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

<www.fib.upc.edu/retro-informatica/historia/videojocs.html>

12.3. Articles

- Zyda, Michael (2005). From Visual Simulation to Virtual Reality to Games. IEEE Computer Society: 0018-9162/05.
- Kemeny, Andras (2014). From driving simulation to virtual reality. Doi: 10.1145/2617841.2620721
- Jill, Dunbar (2016). Discovering the Origin of Stars Through 3D Simulation. NASA/Ames Research Center.



13. Annexos

Annex 1: Dades extretes de l'Arena

A continuació s'afegiran totes les teules de dades de l'Arena utilitzades per construir les gràfiques dibuixades durant el projecte.

Taula 13-1.Dades B4

Grup B4		
Hora	Cua mitjana	Nº de Cicles
7 a 8	0	9
8 a 9	0	21
9 a 10	15	21
10 a 11	0	21

Taula 13-2.Dades B3


Grup B3		
Hora	Cua mitjana	Nº de Cicles
7 a 8	0	12
8 a 9	2	26
9 a 10	239	26
10 a 11	1	25

Taula 13-3.Dades B2

Grup B2		
Hora	Cua mitjana	Nº de Cicles
7 a 8	0	11
8 a 9	1	28
9 a 10	170	25
10 a 11	2	26

Taula 13-4.Dades B1

Grup B1		
Hora	Cua mitjana	Nº de Cicles
7 a 8	0	4
8 a 9	0	10
9 a 10	4	12

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

10 a 11	0	12
----------------	---	----

Taula 13-5. Temps màxim d'espera amb 5s i 2.5s de selecció de taxi

Grup	Temps màxim espera amb 5s (min)	Temps màxim espera amb 2.5s (min)
B1	0,2573	0,2723
B2	19,3	0,2492
B3	26,68	0,3115
B4	0,991	0,991

Taula 13-6. Temps de cicle respecte la selecció de taxi.

	Cicle (5s)	Cicle (2.5s)	millora %
B2	2,3	1,55	32,6
B3	2,4	1,65	31,2

Annex 2: Dades extretes de Flexsim

A continuació s'afegiran totes les teules de dades del Flexsim utilitzades per construir les gràfiques dibuixades durant el projecte.

Taula 13-7. Dades número de cicles amb Flexsim

Nº de Cicles				
Hora	B4	B3	B2	B1
7 a 8	9	12	11	4
8 a 9	21	37	37	10
9 a 10	27	37	37	12
10 a 11	23	26	27	12

Annex 3: Scripts Unity

En aquest tercer annex s'afegiran tots els scripts realitzats per a crear la simulació amb el Unity. Cal aclarir que per aquells scripts com són el pertanyent als passatgers i als taxis que són molt llargs i més difícils d'entendre, s'ha estimat que realitzar un diagrama de flux en comptes de penjar el script serà la millor opció. Pel que fa als altres que si es penjaran els seus scripts, es realitzarà una petita descripció del seu funcionament.

Diagrama de flux del script de passatgers

El diagrama és una representació simplificada i esquematitzada del codi.

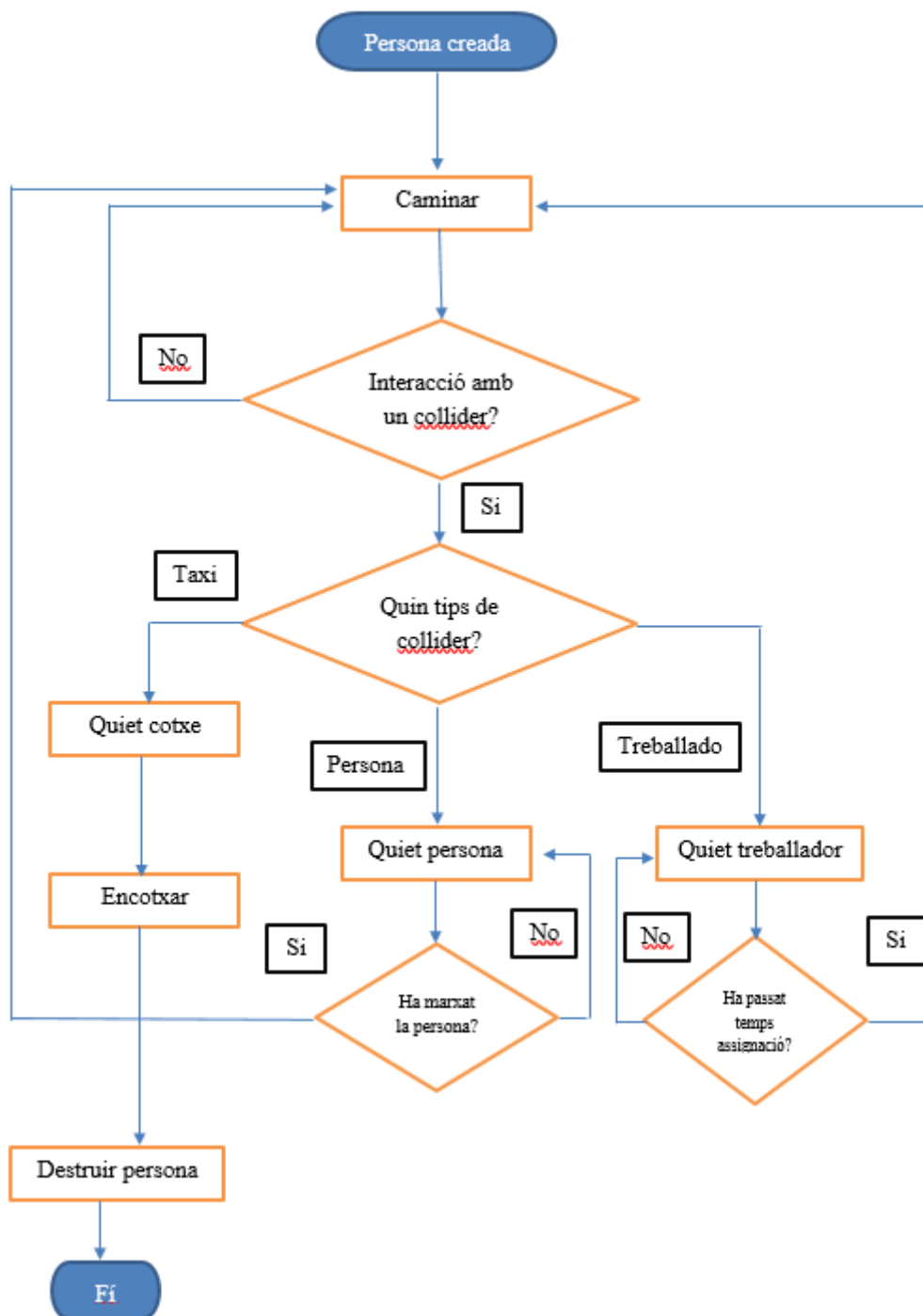
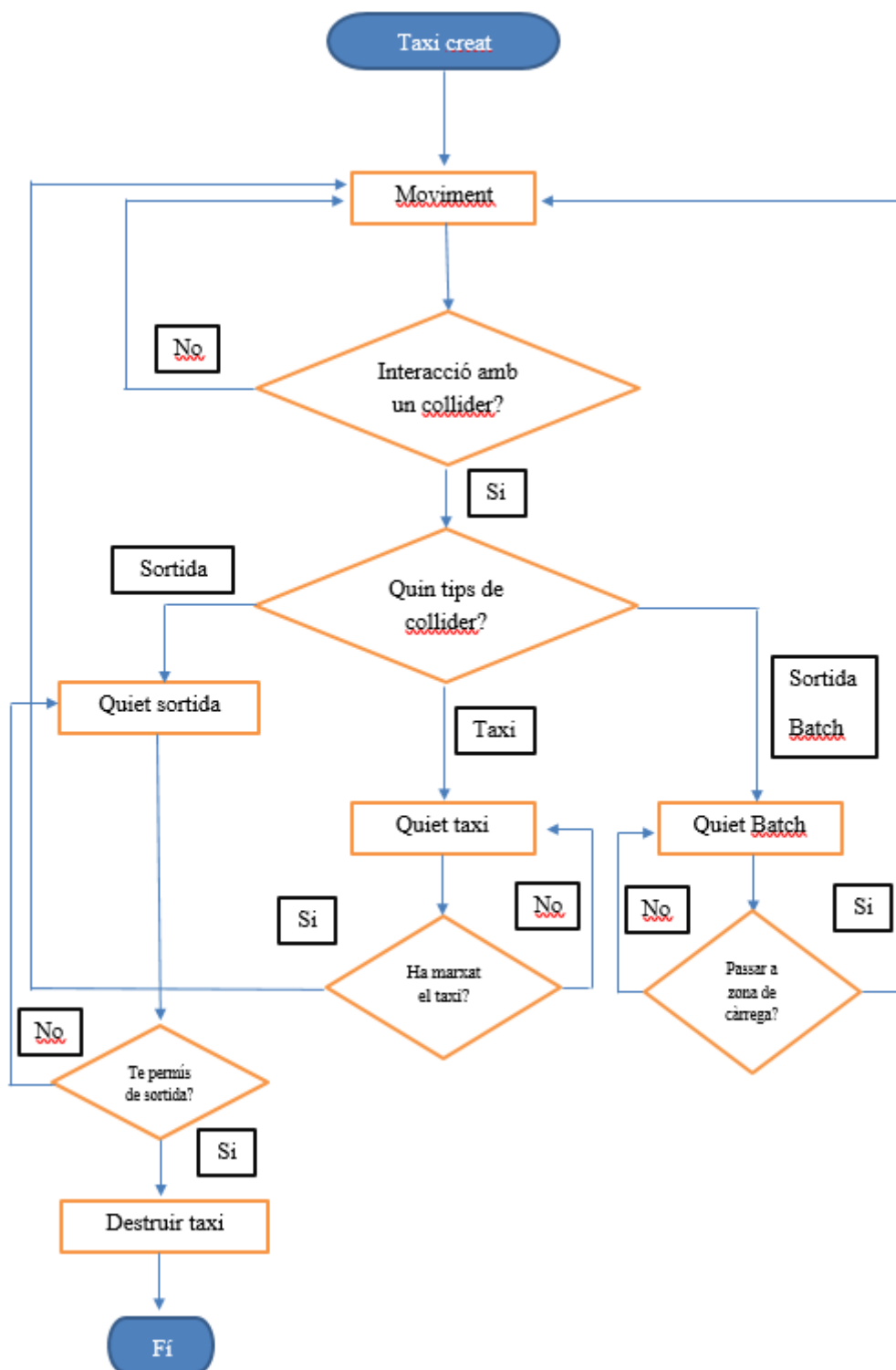



Diagrama de flux del script de taxis

El diagrama és una representació simplificada i esquematitzada del codi.



Script del mànager de taxis

La funció d'aquest script és la de controlar la creació de taxis en un punt concret en l'espai. Depenent si l'estat del sistema esta en "Inici" (creara 14 taxis), o esta en "Càrrega"

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

crearà 9 taxis. També controlarà els taxis que passen de la zona del “Batch” a la zona de càrrega.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
```

```
public class ManCochB4 : MonoBehaviour {
```

```
    public float tiempo=00f;
```

```
    public Reloj ScriptReloj;
```

```
    public GameObject CochesPrefab;
```

```
    bool crearini;
```

```
    float T1=0;
```

```
    float cochesini=0;
```

```
    public int ContTaxis=0;
```

```
    public bool PasarAREcoger;
```

```
    public bool Carga;
```

```
    public float CochesCread=0;
```

```
    public bool irACarga=false;
```

```
    public float ContTaxis2;
```

```
    public bool Encotxar;
```

```
    // Use this for initialization
```

```
    void Start () {
```

```
        crearini=true;
```

```
        PasarAREcoger=true;
```

```
    }
```

```
    // Update is called once per frame
```

```
    void Update () {
```

```
        Carga=GameObject.Find("Zona de carga").GetComponent<ZonaCargaB4>().carga;
```

```
        if(crearini==true)
```

```
        {
```

```
            CreacionInicial();
```

```
        }
```

```
        tiempo=ScriptReloj.tiempoTotal;
```

```
        if(Carga==true)
```

```
        {
```

```
            CrearCoches();
```

```
            Cargacoches();
```

```
        }
```

```
    }
```

```
    void CrearCoches(){
```

```
        if(CochesCread==0)
```

```
        {
```

```
            T1=tiempo+2f;
```

```
            CochesCread=1;
```

```
        }
```

```
        if( CochesCread<=9)
```

```
        {
```

```
            if(tiempo>T1)
```




```
        {
            Instantiate(CochesPrefav,transform.position,Quaternion.identity);
            CochesCread=CochesCread+1;
            T1=T1+2f;
        }
    }

    void CreacionInicial()
    {
        if(cochesini<=14 & crearini==true)
        {
            if(tiempo>T1){
                Instantiate(CochesPrefav,transform.position,Quaternion.identity);
                T1=T1+2f;
                cochesini=cochesini+1;
            }
        }

        if(cochesini==14)
        {
            crearini=false;
        }
    }

    void Cargacoches()
    {
        if (ContTaxis>=27)
        {
            irACarga=false;
            //GameObject.Find("Zona de
carga").GetComponent<ZonaCargaB4>().carga=false;
            Encotxar=true;
            GameObject.Find("Zona de
carga").GetComponent<ZonaCargaB4>().Contpersonas=1;
            GameObject.Find("Zona de
carga").GetComponent<ZonaCargaB4>().contmuertes=0;
        }else
        {
            irACarga=true;
        }
    }

    void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        if(other.tag=="taxiP")
        {
            // 27 porque al tener 3 collider en cada coche nos cuenta como 3 cada vez que
pasa un coche
            if(ContTaxis>=27)
            {
                PasarARecoger=false;
                other.gameObject.GetComponent<coche>().pasararecoger=false;
            }else
            {
                ContTaxis=ContTaxis+1;
            }
        }
    }
}
```

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

```

    }
  }
}

```

Script del mànager de persones

La funció d'aquest script és la de crear persones en un punt d'espai amb una freqüència que canviarà segons l'hora de la simulació i el tipus de passatger.

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class B4managerPer : MonoBehaviour {
    public float tiempo=00f;

    public Reloj ScriptReloj;
    public GameObject PersonasPrefav;
    private float T1=0;

    // Use this for initialization
    void Start () {
        //CrearPersonas();
    }


    // Update is called once per frame
    void Update () {

        tiempo=ScriptReloj.tiempoTotal;
        if(tiempo<=3600)
        {
            if(tiempo>T1-0.1f && tiempo>T1+0.1f)
            {
                CrearPersonas();
                T1=T1+23;
            }
        }
    }
    void CrearPersonas(){
        Instantiate(PersonasPrefav,transform.position,Quaternion.identity);
    }
}

```

Script del controlador de sortida de taxis

La funció d'aquest script és la de controlar les sortides de vehicles del sistema. Aquest objecte deixarà sortir o no els taxis segons com estigui l'estat del sistema (Càrrega, Descàrrega...). Si deixa sortir taxis, en quan compti 9 sortides, tornarà a no deixar passar fins que no rebi un ordre que així ho digui.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
```

```
public class salidaTaxis : MonoBehaviour {
    public bool salida;
    public float ContTaxis=0;

    // Use this for initialization
    void Start () {
        salida=false;
    }

    // Update is called once per frame
    void Update () {
        salida=GameObject.Find("Zona de carga").GetComponent<ZonaCargaB4>().descarga;
    }
    void OnTriggerExit(Collider other)
    {
        if(other.tag=="taxiP")
        {
            ContTaxis=ContTaxis+1;
            if(ContTaxis>=9)
            {
                salida=false;
                ContTaxis=0;
                GameObject.Find("Zona de
carga").GetComponent<ZonaCargaB4>().descarga=false;
                GameObject.Find("Zona de
carga").GetComponent<ZonaCargaB4>().carga=true;

                GameObject.Find("CB4A").GetComponent<ManCochB4>().ContTaxis=1;
            }
        }
    }
}
```


Script dels operaris

La funció d'aquest script és la de controlar les persones que passen a la zona de carrega i a les que deixi passar, fer-les parar durant 5 segons.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
```

```
public class TrabajadorB4 : MonoBehaviour {

    private ZonaCargaB4 zcb4;
    public int cantidad;
    public Vector3 caminotaxi;
    public bool RTGO;
    public bool STOP;
```

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

```
// Use this for initialization
void Start () {
    zcb4=GameObject.Find("Zona de carga").GetComponent<ZonaCargaB4>();
}

// Update is called once per frame
void Update () {

    cantidad=zcb4.Contpersonas;

    if(cantidad>=18)
    {
        STOP=true;
    }
    else{
        STOP=false;
    }

}

void OnTriggerEnter(Collider other)
{
    if(other.tag=="Persona")
    {
        other.gameObject.GetComponent<caminar>().tipopasajero=4;
        other.gameObject.GetComponent<caminar>().TiempEncotx();
    }
}
}
```

Script del controlador de la zona de càrrega


La funció d'aquest script és la de contar els passatgers que entren a la zona de carrega, i comptar els taxis que en surten. A partir de aquí, controlar l'estat del sistema.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class ZonaCargaB4 : MonoBehaviour {
    public int Contpersonas;
    // RTGO es que las personas puedan pasar a la zona de taxis cuando es true (<18)
    public bool RTGO;
    public float salida=99;
    public float contmuertes;

    public bool inicio;
    public bool descarga;
    public bool carga;
    public bool encotxar;
    public float ContTaxis;
    public salidaTaxis SalTax;

    // Use this for initialization
    void Start () {
        inicio=true;
```

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Department of Project and Construction Engineering	Document:	Treball final de màster
	Autor:	Marc Rodríguez García
	Versió:	8.0
	Data:	20/04/2019

```

    }

    // Update is called once per frame
    void Update () {
    }
    void OnTriggerEnter (Collider other)
    {
        if(other.tag=="Persona")
        {
            Contpersonas=Contpersonas+1;

        }
    }
    public void ContMur()
    {
        contmuertes=contmuertes+1;
        if (contmuertes>=18)
        {
            inicio=false;
            descarga=true;
        }
    }
}

```